Tercera edición

Heinrich Gerling

Alrededor de las máquinas-herramienta

EDITORIAL REVERTÉ

Tercera edición

Alrededor de las

máquinas-herramienta

Tercera edición

Heinrich Gerling

Alrededor de las

máquinas-herramienta

Máquinas-herramienta para arranque de viruta y herramientas

Medición y Calibrado

Fabricación de
Piezas torneadas - Piezas taladradas - Piezas fresadas
Piezas acepilladas - Piezas mortajadas - Piezas brochadas
Piezas amoladas - Piezas roscadas - Ruedas dentadas

EDITORIAL
REVERTÉ

Barcelona · Bogotá · Buenos Aires · Caracas · México

Título de la obra original:
Rund um die WERKZEUGMASCHINE

Edición original en lengua alemana publicada por
Georg Westermann Verlag GMBH & Co., Braunschweig

Edición en español:

ISBN: 978-84-291-6049-9

REIMPRESIÓN SEPTIEMBRE DE 2014

Versión española por
r. Carlos Sáenz de Magarola
ctor Ingeniero Industrial

opiedad de:
EDITORIAL REVERTÉ, S. A.
Loreto, 13-15. Local B
08029 Barcelona. ESPAÑA
Tel: (34) 93 419 33 36
Fax: (34) 93 419 51 89
reverte@reverte.com
www.reverte.com

Impreso en España - *Printed in Spain*

Depósito Legal: B 8191-2011
Impresión: Liberdúplex, S.L.U.

#946

Prólogo

En este libro se trata de todo lo que hay «alrededor de las máquinas-herramienta» y, por tanto, de todo lo que es de interés cuando se fabrican piezas mediante arranque de viruta. Nos ocupamos en este libro de las máquinas-herramienta mismas y también de la herramienta que su uso requiere, del proceso de trabajo por arranque de viruta y de sus fundamentos físicos, de la fabricación de piezas con esas máquinas y de la medición y comprobación de estas piezas así como también del cálculo de tiempos de trabajo.

De lo dicho se desprende que este libro es interesante e indicado para todo aquel que tiene que andar directamente con máquinas-herramienta y muy especialmente para los aprendices de todos los oficios mecánicos a quienes no se pide que dominen todavía hasta el detalle los procesos de trabajo por arranque de viruta, pero que, en cambio, han de tener conocimiento de las máquinas-herramienta, de cómo están construidas y de su modo de trabajar. Los montadores o ajustadores deben estar sobre todo familiarizados con estas máquinas y con las posibilidades de trabajo que ofrecen, puesto que su ámbito de trabajo abarca principalmente el montaje de máquinas y de aparatos y el manejo constante de piezas mecanizadas. Pero hay todavía más: con la ayuda de este libro pueden también los delineantes técnicos adquirir una primera idea, y de carácter muy práctico, sobre las diversas máquinas-herramienta y los procedimientos de mecanizado por arranque de viruta.

El material de esta obra esta articulado esencialmente con vistas a ejercicios de fabricación. Los ejemplos de fabricación, las máquinas-herramienta, las herramientas y los aparatos de verificación no se describen aisladamente sino que se contemplan estrechamente enlazados con los ejercicios de fabricación. Esta forma de exposición se corresponde con la realidad de la práctica. Por otra parte puede volverse a encontrar también la relación de los distintos temas o materias (véase Observaciones para el lector). Cada página del libro comprende por lo general un tema completo en sí mismo. Con esto se consigue una buena claridad y se facilita la búsqueda de la materia que interese. El libro ha obtenido una extensa difusión. Ha sido publicado hasta ahora en catorce idiomas. En esta edición se han tenido en cuenta las unidades SI (DIN 1301) y la nueva simbología en las fórmulas (DIN 1304).

Heinrich Gerling

Observaciones para el lector

Las materias tratadas en este libro van caracterizadas por sendos símbolos.

1. Van marcadas con la señal  las páginas de este libro en que se trata de MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS.

2. Van marcadas con la señal  las páginas del libro en que se trata de MEDIR Y CALIBRAR (técnica de la verificación de longitudes).

3. Van marcadas con la señal  las páginas del libro en que se trata de FABRICACIÓN DE PIEZAS (técnica de la fabricación).

Se puede, pues, por ejemplo, para repasar o para profundizar, considerar reunidas las materias relacionadas entre sí (es decir las materias que llevan el mismo símbolo) y estudiar así unas tras otras como formando un sólo cuerpo de doctrina todas las páginas que llevan la misma señal.

Índice analítico

Piezas diversas. Procedimientos diversos 1

Fabricación por arranque de viruta en máquinas-herramienta 2
Arrancar virutas 2
Magnitudes de corte y de las virutas producidas 3
Máquinas-herramienta que trabajan arrancando viruta 5

1. FABRICACIÓN DE PIEZAS TORNEADAS

Formas de revolución 6
Proceso del torneado 6
Procedimientos de torneado 7
Tornos de distintos tipos 8
Partes principales del torno de puntos 9
Mecanismos para el movimiento de corte 12
Transmisión por correas y por engranajes 12
Transmisiones escalonadas 13
Engranajes de ruedas escalonadas 16
Mecanismos regulables sin escalonamiento 16
Mecanismo para el movimiento de avance 16
Clases de mecanismos de avance 19
Materiales para cuchillas de torno 21
Geometría en la cuña del filo 22
Tipos de útiles de torno 25
Cuidados de las cuchillas de torno 28
Sujeción de la cuchilla 30
Ajuste del útil de torno 30
Acerca de la velocidad de corte 32
Determinación del número de revoluciones 35
Avance, profundidad, clases y formas de virutas 37
Fuerza de corte 38

Mecanizado de pernos 39

Torneado de pernos 41
Medición y verificación de pernos 42
Torneado de piezas cilíndricas cortas 44
Ranurar y tronzar al torno 46
Calidad superficial de las piezas 46
Cálculo del tiempo útil principal para tornear 48

Mecanizado de pernos con espiga en los extremos 49

Mecanizado de pernos 51
Medición y verificación con el pálmer 52
Sujeción de piezas cilíndricas cortas en la boquilla de sujeción 55

Mecanizado de árboles 56

Torneado del árbol 58
Medición y verificación del árbol 59
Torneado entre puntos 60
Ejecución de puntos de centrado 61
Sujeción entre puntos 62
Platos de arrastre 62
Luneta y mandril para tornear 65
Verificación con calibre de herradura 66
Comparador 67
Indicadores de precisión mecánicos 68
Indicadores de precisión ópticos y eléctricos 71

Mecanizado de árboles excéntricos 72

Torneado excéntrico 73
Verificación de la excentricidad 75
Calibres de caras paralelas 76

Torneado de piezas de forma 78

Torneado de formas 79
Moleteados diagonal y paralelo 80
Verificación por medio de plantillas de formas 82

Mecanizado de cajas y de piezas fundidas 83

Sujeción de las piezas en el plato del torno 85

Mecanizado en serie de piezas torneadas 86

2. FABRICACIÓN DE PIEZAS PERFORADAS

Taladros en las piezas 89
Movimientos al perforar con taladradora 90
Tipos de máquinas taladradoras y constitución de las mismas 91
Herramientas para taladrar 96
Herramientas especiales para taladrar 100
Sujeción de la broca 101
Número de revoluciones, avance y refrigeración al taladrar 103

Ejecución de taladros sencillos con la taladradora de columna 104

Taladrado del agujero 105
Medición del taladro 105
Sujeción de las piezas en la taladradora 106
Cálculo del tiempo útil principal y del tiempo disponible para taladrar 108

Trabajos de avellanado 109

Taladrado y avellanado 110
Avellanador 112

Ejecución de taladros pasantes en la taladradora vertical 114

Medición y verificación de taladros 116
Escariadores 117
Escariado en la taladradora vertical 118

Ejecución de taladros que se cruzan haciendo uso de la mandrinadora universal 119

Medición y verificación de taladros 121

Mecanizado de casquillos o manguitos 122

Taladrado al torno 123
Medición y calibrado de taladros 125

3. MECANIZADO DE PIEZAS CÓNICAS

Torneado de conos con el carro superior y con el desplazamiento del punto del cabezal móvil 129

Torneado cónico con ayuda de la regla de guía 130

Mecanizado de contrapuntos 131

Medición y verificación de ángulos 133
Aparatos de medición de ángulos 134
Medición y calibrado de conos 135

Ejecución de agujeros para pasadores cónicos 138

4. FRESADO DE PIEZAS

Algunas piezas fresadas importantes 140
Procedimiento de fresado 141
Constitución de las máquinas de fresar y distintas clases de éstas 142
Herramientas para fresar 144
Cuidados de las fresas 149
Sujeción de las fresas 150
Sujeción de las piezas 152

Ajuste del número de revoluciones 153
Ajuste del avance 154
Fresado de desbastado y de afinado 155

Fresado de superficies planas 157

Verificación de superficies planas 158

Verificación de chaveteros 159

Verificación del chavetero 160

Fresado de placas de guía 161

Mecanizado de la placa de guía 162
Medición y verificación de la placa de guía 163

Fresado de piezas hexagonales 164

División con aparatos para dividir 165
División por medio del plato divisor 166

5. CEPILLADO DE PIEZAS

Constitución de una limadora horizontal 170
Cuchilla para cepilladora 174
Sujeción de las cuchillas de cepillar 175
Sujeción de las piezas 176
Cálculo del tiempo útil principal en el cepillado 178

Fabricación de prismas de apoyo para taladrar 180

Medición y verificación del prisma 181
Constitución de la cepilladora 183

Cepillado de regletas de guía 184

Medición por medio de nivel de burbuja 185

6. MECANIZADO DE PIEZAS EN LA MORTAJADORA VERTICAL

Mortajado de ranuras interiores 188
Medición y verificación de la ranura interior 189

7. BROCHADO DE PIEZAS

Brochadoras 191
Herramientas de brochar 192

Brochado de piezas con agujero de ranuras múltiples 193

8. ESMERILADO DE PIEZAS

Muelas 195
Afilado de herramientas 199
Esmerilado de las irregularidades de las piezas 200
Rectificado cilíndrico y rectificadoras cilíndricas 202

Rectificado de árboles 206

Distintos procedimientos de rectificado cilíndrico. Tronzado por abrasión 209
Cálculo del tiempo útil principal en el rectificado cilíndrico 210
Rectificado cilíndrico interior 211

Rectificado de agujeros 212

Rectificado plano 214
Cálculo del tiempo útil principal en el rectificado de superficies 216

Rectificado de caras paralelas 217

Acabado de piezas 218

Pulido, bruñido, torneado de precisión, electroerosión 219

9. ROSCADO DE PIEZAS

Empleo de piezas roscadas 223
Características de las roscas 223
Roscas normalizadas 225
Mecanizado de piezas roscadas al torno 228

Roscado de piezas en el torno por medio de machos de roscar y de terrajas 229

Indicaciones de trabajo para el roscado con machos de roscar y con terrajas 230
Tallado de roscas en el torno con cuchilla de roscar 232
Tallado de roscas en el torno paralelo con husillo de roscar 234

Roscado de pernos con la cuchilla de tornear 236

Roscado de tuercas con la cuchilla de roscar 238

Cálculo de las ruedas intercambiables 240
Tallado de roscas en la máquina de roscar 243
Fresado de roscas 243
Tallado orbital de roscas, esmerilado de roscas y laminado de roscas 244
Medida y calibrado de roscas 246

10. MECANIZADO DE RUEDAS DENTADAS

Empleo de ruedas dentadas 251
Magnitudes de las ruedas frontales con dentado recto 253

Material para ruedas dentadas 254
Ejecución de dentados por arranque de viruta 255

Fresado de una rueda frontal por el procedimiento del fresado de forma 256

Fresado de ruedas por el procedimiento continuo 258
Mortajado de dientes 259
Rectificado de los flancos de dientes en ruedas frontales 260
Verificación ruedas dentadas 262

11. OLEOHIDRÁULICA 263

Tercera edición

Alrededor de las

máquinas-herramienta

PIEZAS DIVERSAS – PROCEDIMIENTOS DIVERSOS

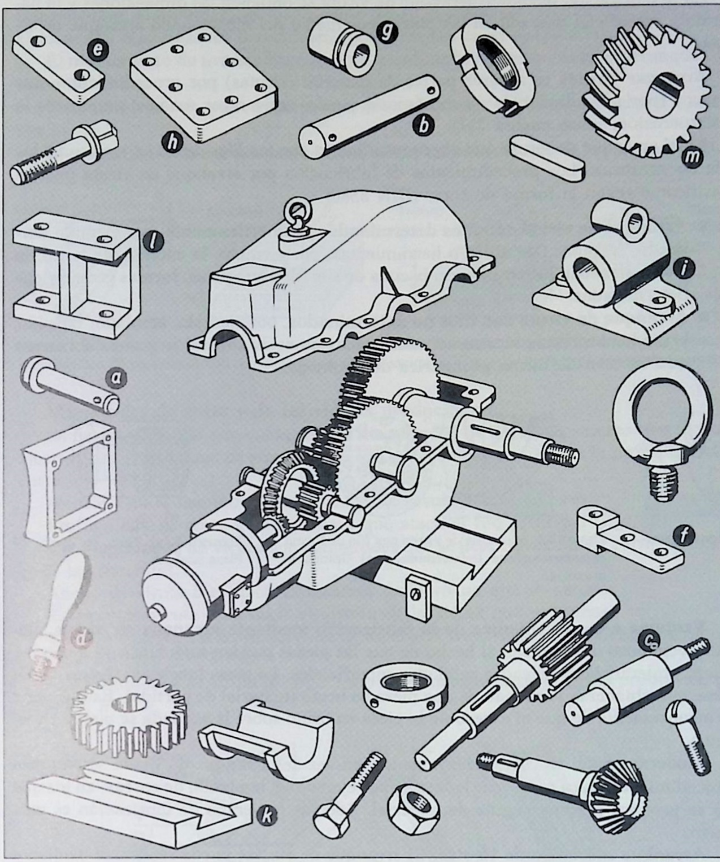


Figura I.1. Las máquinas se componen de muchas piezas, por ejemplo; *a*) pernos, *b*) ejes; *c*) árbol de excéntrica; *d*) mangos; *e*) piezas de unión; *f*) extremos de palanca; *g*) casquillos; *h*) tapas; *i*) soportes; *k*) guías; *l*) bastidor; *m*) ruedas dentadas.

Las máquinas, los montajes y demás productos de carácter técnico están, en general constituidos por piezas sueltas unidas entre sí. La obtención de objetos a partir, por ejemplo, de piezas sueltas y de herramientas, recibe el nombre de fabricación. Durante el proceso de fabricación los elementos reciben la denominación de piezas. Para fabricar se elige el procedimiento más adecuado para cada caso. A fin de que las piezas fabricadas resulten utilizables, tienen que satisfacer ciertas condiciones en lo que respecta a materiales, forma, dimensiones y estado y naturaleza de la superficie.

FABRICACIÓN POR ARRANQUE DE VIRUTA EN MÁQUINAS-HERRAMIENTA

En la fabricación mediante arranque de viruta se obtienen las dimensiones y la naturaleza superficial deseada en las piezas por medio del mencionado arranque de viruta.

Arrancar virutas es separar partes de material (virutas) por procedimientos mecánicos (por procedimientos no mecánicos, puede, entre otros medios, emplearse la electroerosión, véase página 221).

En el arranque de viruta que ahora estudiamos son los *filos de las herramientas* los que las arrancan. Los procedimientos de fabricación por arranque de viruta pueden clasificarse según la forma de corte (DIN 8580).

- **Arranque de viruta con filos determinados geométricamente**, por ejemplo, torneado, fresado. Los útiles o herramientas, por ejemplo, la cuchilla de torno, la fresa, arrancan las virutas con la cuña de sus filos que tienen formas geométricas determinadas.
- **Arranque de viruta con filos no determinados**, por ejemplo, amolado, lapeado, bruñido. Las finas virutas son arrancadas en estos casos por granos abrasivos que carecen de forma geométrica determinada.

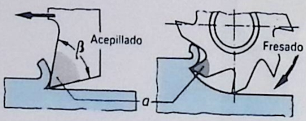


Figura I.2. Arranque de viruta con filos determinados geométricamente.
a) Filo, β ángulo de filo.

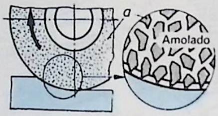


Figura I.3. Arranque de viruta con filo de forma geométricamente indeterminada. a) Granos abrasivos.

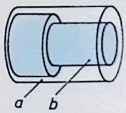


Figura I.4. a) Pieza en bruto. b) Pieza acabada.

Ventajas e inconvenientes de la fabricación mediante arranque de viruta. Resulta ventajoso desde luego el hecho de que las piezas puedan salir fabricadas con pequeñas tolerancias y elevadas calidades superficiales. La pieza fabricada (forma final) tiene que obtenerse partiendo de una pieza en bruto (material de partida). Esto supone el inconveniente de que el exceso de la pieza en bruto sobre la acabada se pierde en virutas.

Modernamente, en casos determinados, en vez del arranque de viruta se emplean procedimientos para modificar la forma, por ejemplo el laminado de roscas, en los que no se produce pérdida alguna de material. Además el tiempo de fabricación es más corto.

Arranque mecánico de virutas. El arranque de virutas puede realizarse mediante trabajo manual o mediante trabajo con máquinas. Para el arranque de virutas con máquinas (arranque a máquina) son necesarios:

- Máquinas-herramienta que arranquen virutas: tornos, fresadoras, taladros, acepilladoras, etc.
- Herramientas: de un solo filo, por ejemplo, la cuchilla de torno, o de varios filos, como la fresa.
- Elementos de sujeción: sujeción de la herramienta, sujeción de la pieza. Estos elementos unen la herramienta y la pieza a la máquina.

Movimientos en el arranque de viruta

Para el arranque de viruta tienen que realizar la herramienta y la pieza, o una sola de ellas, determinados movimientos entre sí (movimientos relativos).

El **movimiento de corte** es aquel que sin movimiento de avance, solamente arranca viruta durante una revolución (por ejemplo, al tornear o fresar) o durante una carrera (por ejemplo, al acepillar); el movimiento de corte puede ser circular (por ejemplo, en el torneado o el fresado) o rectilíneo (por ejemplo, en el acepillado).

El **movimiento de avance** hace posible, combinado con el de corte, el arranque continuo de virutas.

El **movimiento de penetración** determina el espesor de la capa de viruta a arrancar.

El **movimiento de aproximación** lleva la herramienta delante de la pieza a trabajar.

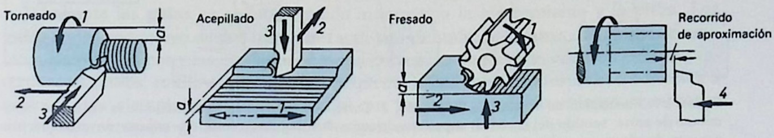


Figura I.5. Movimientos durante el arranque de viruta. 1) Movimiento de corte, 2) movimientos de avance, 3) movimientos de penetración, 4) movimiento de aproximación; a = espesor de la capa de viruta a arrancar.

Magnitudes de corte y de las virutas producidas

Se designan con la denominación de **magnitudes de corte** los valores que hay que ajustar para el arranque de viruta; tales son,por ejemplo,el avance y la profundidad de corte.

Avance s es el camino recorrido en cada revolución o carrera.

Profundidad de corte a es aquella a que ataca el filo principal (fig. I.6).

Las **magnitudes de viruta** son magnitudes que se deducen de las de corte. Se distinguen las siguentes:

Ancho de viruta b es decir la anchura de la viruta que se arranca.

Espesor de viruta h es decir el grueso de la viruta que se arranca.

Sección transversal de viruta S, es la superficie transversal de la viruta a arrancar; $S = a \cdot s$ o bien $S = b \cdot h$.

Las magnitudes de viruta (h', b', S') son las dimensiones de la viruta producida, por ejemplo, $h' > h$.

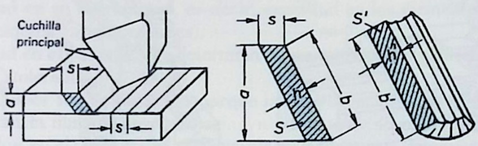


Figura I.6. Magnitudes de corte y de arranque de viruta s = avance, a = profundidad de corte, b = ancho del arranque de viruta, h = espesor del arranque de viruta, S = sección transversal del arranque de viruta, b' = ancho de viruta, h' espesor de viruta, S' = sección transversal de viruta.
Ejemplo: Cálculo de S en mm^2; $a = 3$ mm, $s = 0{,}4$ mm. Solución: $S = a \cdot s$; $S = 3\ mm \cdot 0{,}4\ mm = 1{,}2\ mm^2$

Formación de virutas en el caso de filo geométricamente determinado

Proceso. La formación de la viruta se realiza normalmente en varias etapas.

1. Recalcado. El material es recalcado por el filo que va penetrando en él.
2. Corte. El mayor recalcado (deformación) se tiene en el plano de corte. En este plano tiene lugar al final un esfuerzo cortante mayor que la resistencia al corte, por lo que resulta cortada una parte de viruta (elemento de viruta).

3. Salida de la viruta. En el caso de materiales agrios (como por ejemplo el hierro fundido) se desprenden partes de viruta; cuando el material es tenaz (por ejemplo el acero) se unen unas a otras y forman una viruta continua (viruta arrancada, viruta cortada, viruta continua o plástica, véase página 38).

Recalcado de la viruta. El ángulo entre la dirección de corte y la normal al plano de corte se llama ángulo de ataque. Como éste ángulo es generalmente menor que 45°, el espesor de viruta h' resulta mayor que el espesor de arranque h (factor de recalcado = h'/h). Además, se tienen las anchuras de viruta y el recalcado de longitud de viruta.

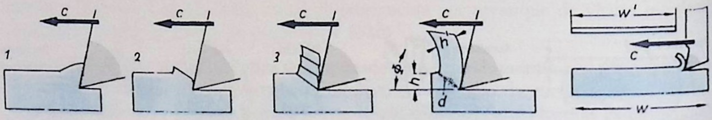


Figura I.7. Formación de virutas. 1. Recalcado, 2. Corte, 3. Escurrimiento, derrame de la viruta; c) movimiento de corte, sentido del corte; d) superficie de corte, Φ = ángulo de corte, h = espesor de arranque, h' = espesor de viruta, w = longitud de corte, w' = longitud de viruta recalcada.

Máquinas-herramienta para arranque de viruta

Las máquinas-herramienta, de modo automático, producen piezas de la forma deseada con ayuda de herramientas. Tienen que sujetar piezas y herramientas y realizar procesos determinados de movimiento (véanse páginas anterior y siguiente).

La **clasificación de las máquinas-herramienta** puede hacerse de acuerdo con diversas características:

- **Procedimiento de fabricación.** Las diferentes clases de superficies de las piezas (de rotación, planas, etc.) exigen procedimientos de fabricación adecuados (torneado, fresado, etc.) así como las máquinas-herramienta correspondientes (tornos, fresadoras, acepilladoras). Las piezas pueden denominarse de acuerdo con el procedimiento empledo para fabricarlas. Así, por ejemplo, pieza torneada, pieza fresada.

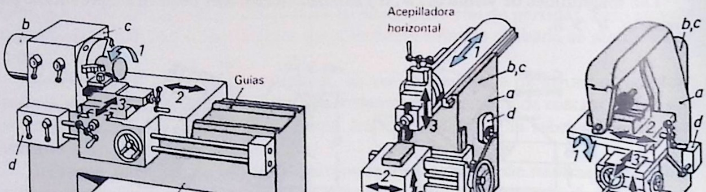


Figura I.8. Máquinas-herramienta que trabajan con arranque de viruta. a) Bancada (montante), b) Accionamiento, c) Mecanismo principal, d) Mecanismo para movimientos de avance.

Máquina	1 Movimiento de corte	2 Movimiento de avance	3 Movimiento de penetración
Torno	Pieza, rotatorio	Herramienta, rectilíneo	Herramienta, rectilíneo
Acepilladora horizontal	Herramienta, rectilíneo	Pieza, rectilíneo	Herramienta, rectilíneo
Fresadora	Herramienta, rotatorio	Pieza, rectilíneo	Pieza, rectilíneo

- **Aplicación**. Máquinas de aplicaciones múltiples (máquinas universales) para fines constantemente variables; máquinas de varias aplicaciones de la misma clase (torno al aire, torno revolver); máquinas para una sola aplicación y siempre la misma, como por ejemplo, torno para cigüeñales.

Constitución de las máquinas-herramienta que trabajan arrancando viruta. Todas las máquinas tienen: bancada, guías, accionamiento, mecanismo, elementos de maniobra y accesorios.

En la bancada (montante, bastidor) van dispuestos los grupos constructivos (mecanismos, carros, mesas) que soportan y mueven a la pieza y a la herramienta.

Mediante las **guías** se guian de modo automático la hierramienta y la pieza. Las guías rectas con apoyo de deslizamiento son, por ejemplo, las planas, las de cola de milano, las prismáticas y las redondas; hay también guías rectas con cuerpos rodantes interpuestos (bolas, rodillos; rozamientos pequeños). Las guías giratorias son cojinetes o asientos (por ejemplo, asientos de husillo) que trabajan por deslizamiento o por rodadura. Solamente las guías exactas dan origen a piezas exactas.

Accionamiento. Generalmente cada máquina tiene su motor eléctrico de accionamiento (accionamiento propio).

Los **mecanismos** (o transmisiones) sirven para transmitir e invertir el movimiento del accionamiento. El mecanismo principal proporciona el movimiento de corte; el de avance da el movimiento de avance como su misma denominación indica. Hay transmisiones mecánicas (de correas, de engranajes), transmisiones hidráulicas (presión de aceite) y transmisiones neumáticas (presión de aire).

Los **elementos de maniobra** (volantes, palancas, pulsadores) actúan sobre los movimientos de conexión. El giro a la derecha (giro en el sentido del movimiento de las agujas del reloj) en un volante, da origen a un movimiento, por ejemplo, de un carro hacia la derecha, hacia arriba. Mediante giro a la izquierda se obtienen movimientos inversos. Para indicar esos movimientos se utilizan símbolos (figura I-10).

Entre los **accesorios** se pueden considerar, entre otros, las instalaciones de refrigeración y lubricación.

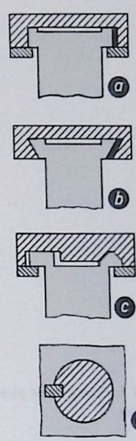


Figura I.9. Guías rectas (guías de deslizamiento),a) guía plana, b) guía en cola de milano, c) guía prismática, d) guía redonda.

Son **exigencias o condiciones importantes en las máquinas-herramienta** las siguientes:

- **Exactitud en su fabricación**, es decir, exactitud en los elementos constructivos de la máquina (asientos, guías);
- **Exactitud en el trabajo**, que determina la exactitud de las piezas fabricadas (por ejemplo, tolerancias);
- **Seguridad de funcionamiento**, porque las perturbaciones en el funcionamiento perjudican la marcha del trabajo,
- **Protección en el trabajo** que salvaguarde a los operarios contra accidentes y otro género de daños.



Figura I.10. Símbolos en elementos de maniobra (algunos ejemplos).

Entretenimiento. Las máquinas deben limpiarse con frecuencia; deben engrasarse de acuerdo con un programa; los asientos y las guías deben ajustarse a su debido tiempo (los asientos no han de alcanzar temperaturas que no puedan soportarse al tacto); hay que proteger las guías contra las virutas, pues de lo contrario se producen fuertes desgastes; observar las normas de prevención de accidentes.

Capítulo 1

Fabricación de piezas torneadas

Formas de revolución

Las piezas torneadas, como los bulones, árboles, casquillos, tienen generalmente secciones transversales circulares. Pero por torneado pueden conseguirse también piezas con secciones ovales o con otra clase de formas curvas. Las superficies laterales de las piezas pueden, lo mismo las exteriores que las interiores, ser cilíndricas, cónicas, planas o curvas.

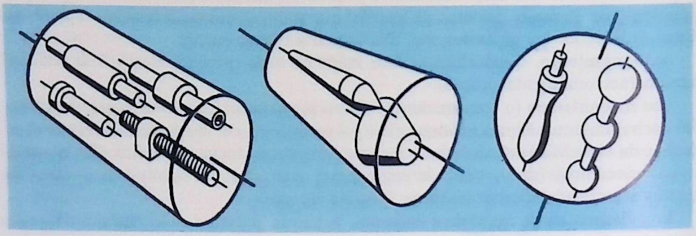


Figura 1.1. Ejemplos de piezas torneadas.

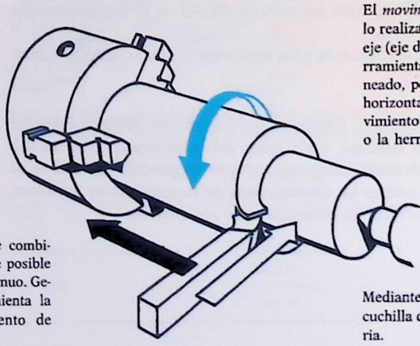
El torneado es un importante procedimiento de fabricación por las siguientes razones: en muchas piezas se encuentran superficies torneadas; el torneado permite pequeñas tolerancias y superficies poco rugosas; las herramientas de torno son relativamente sencillas; el arranque ininterrumpido de virutas es económico.

Proceso del torneado

El tornear es arrancar virutas con un útil de un filo, de forma geométricamente determinada, que ataca constantemente a la pieza que se trabaja. Los movimientos necesarios para el arranque de viruta descritos antes con carácter completamente general (véanse págs. 2 y 3) son aplicables al torneado (fig. 1.2).

Figura 1.2. Movimientos en el torneado.

El *movimiento de corte* es circular. Generalmente lo realiza la pieza que gira alrededor de su propio eje (eje de giro) moviéndose contra el filo de la herramienta. En algunos procedimientos de torneado, por ejemplo, al tornear con mandrinadora horizontal, es la herramienta la que realiza ese movimiento circular. La velocidad a que gira la pieza o la herramienta se llama velocidad de corte.

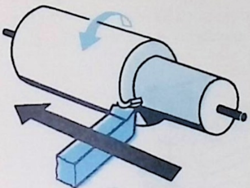


El *movimiento de avance* combinado con el de corte hace posible el arranque de viruta continuo. Generalmente es la herramienta la que realiza el movimiento de avance.

Mediante el *movimiento de penetración* se sitúa la cuchilla de torno a la profundidad de corte necesaria.

Procedimientos de torneado

La diversidad de formas de las piezas de revolución se obtiene mediante distintos procedimientos de torneado. Según que las piezas sean trabajadas exterior o interiormente se habla de *torneo exterior* (TE) o de *torneo interior* (TI). Las piezas cilíndricas se obtienen mediante torneado longitudinal o de cilindrado, las superficies planas mediante refrentado o torneado al aire, los conos mediante torneado cónico, las piezas perfiladas o de forma, mediante torneado de forma, las roscas mediante roscado o tallado de rosca al torno.



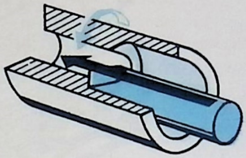
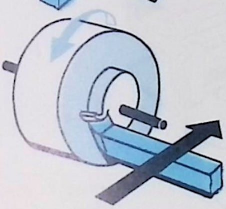


Figura 1.3. Cilindrado.



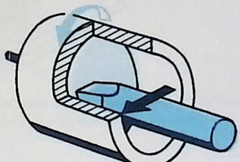
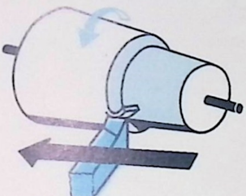


Figura 1.4. Refrentado o torneado al aire.



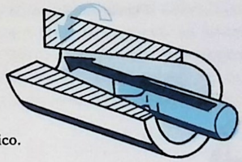
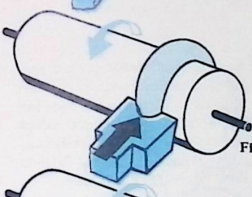


Figura 1.5. Torneado cónico.



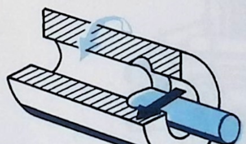
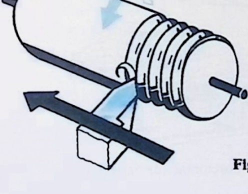


Figura 1.6. Torneado de piezas perfiladas o de forma.



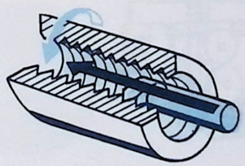


Figura 1.7. Torneado o tallado de roscas al torno.

Tornos de distintos tipos

Para poder llevar a cabo todos los casos que pueden presentarse en la fabricación de piezas, existen tornos de diversos tipos. El más empleado es el torno paralelo con husillo de guía y husillo de cilindrar (torno de puntos) (fig. 1.8). Otros tornos importantes son el torno al aire y el torno vertical. (figs. 1.9 y 1.10), el torno revólver y diversos tornos automáticos.

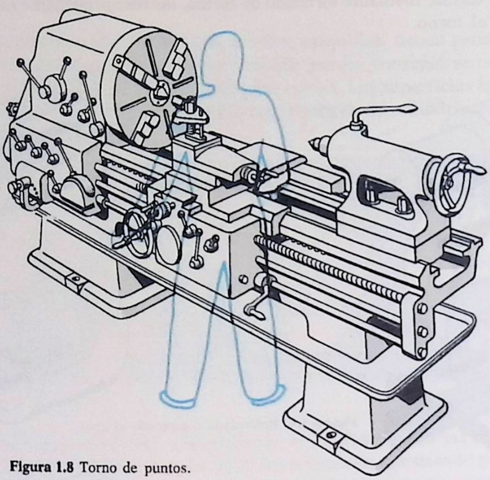


Figura 1.8 Torno de puntos.

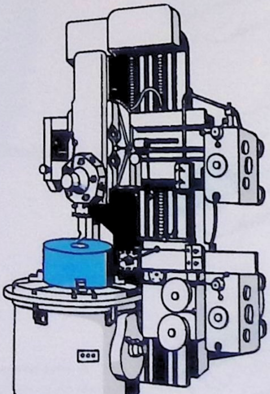


Figura 1.9. Torno vertical (torno de plato horizontal).

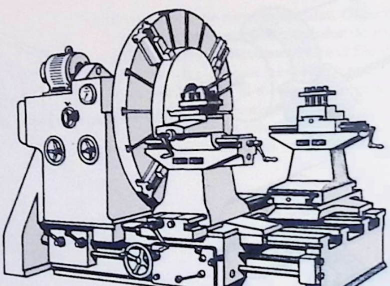


Figura 1.10 Torno al aire de eje horizontal (de refrentar).

Partes principales del torno de puntos

Esta máquina es una de las más útiles, pues por sus movimientos rotatorios permite fabricar las más variadas formas. (fig. 1.11).

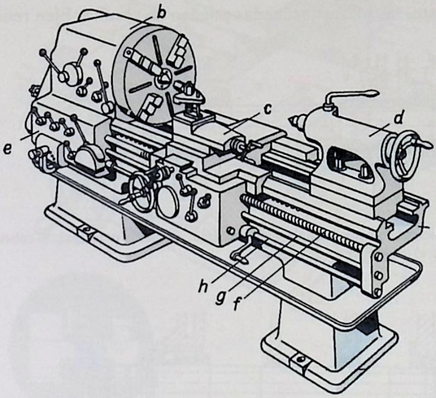


Figura 1.11. Partes principales del torno: *a*) bancada del torno; *b*) cabezal fijo; *c*) carro portaútil; *d*) cabezal móvil; *e*) mecanismo de avance; *f*) husillo de roscar; *g*) husillo de cilindrar; *h*) husillo de avance.

En el cabezal fijo (figs. 1.12 ... 1.14) va dispuesto el husillo principal o de trabajo por medio del cual recibe la pieza su movimiento de rotación. El husillo va sobre buenos cojinetes, está bien sujeto y se construye del mejor acero. Por lo general, es hueco para que, en caso dado pueda pasarse a su través alguna barra que se vaya a trabajar. Los puntos de apoyo del husillo están templados y rectificados. Como soportes del husillo principal es usual emplear cojinetes de deslizamiento y de rodamiento. Los casqui-

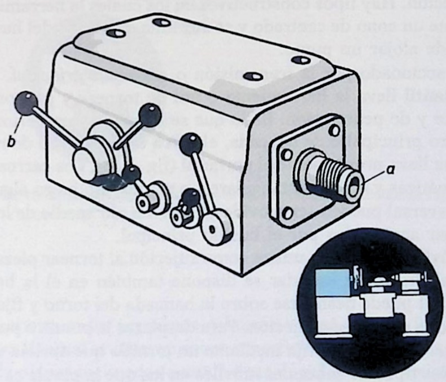


Figura 1.12. Cabezal fijo: *a*) husillo principal; *b*) palanca de embrague.

llos, o cojinetes propiamente dichos cuando de *cojinetes de deslizamiento* se trata, son generalmente de bronce. Los cojinetes de rodadura o rodamientos ofrecen rozamiento muy pequeño. El husillo principal debe girar en los cojinetes sin juego alguno. Si existe juego, resultan en la superficie de la pieza que se trabaja señales producidas por la herramienta como consecuencia de la vibración que transmite el husillo a la susodicha pieza; además de esto, las piezas torneadas pueden no resultar bien redondas. El juego

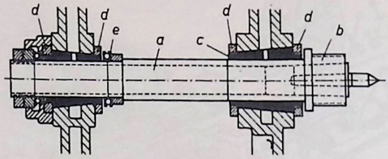


Figura 1.13. Husillo principal con cojinetes de deslizamiento: *a*) husillo principal; *b*) cabeza de husillo; *c*) cojinete; *d*) tuerca anular; *e*) rodamiento de empuje.

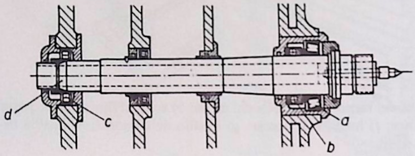


Figura 1.14. Husillo principal con cojinete de rodamientos: *a*) rodamiento radial a rodillos cónicos; *b*) rodamiento axial a bolas; *c*) cojinete de rodillos cilíndricos; *d*) cono de centraje.

de los cojinetes puede disminuirse mediante reajuste. El rodamiento axial tiene por objeto resistir el empuje que durante el torneado se produce en la dirección del eje de rotación (empuje axial).

La cabeza del husillo va provista de una rosca que sirve para atornillar a ella la herramienta de sujeción. Hay tipos constructivos en los cuales la herramienta de sujeción se centra mediante un cono de centrado y se atornilla a la brida del husillo. El mandrinado cónico puede alojar un punto.

El husillo es accionado por la transmisión o *engranaje principal*.

El carro portaútil lleva la herramienta o útil de tornear y proporciona los movimientos de avance y de penetración. Es lo que se llama un carro cruzado y está compuesto por el carro principal o de bancada, el carro transversal o de refrentar y la torreta que es la que lleva propiamente el portaútil (fig. 1.15). Los carros deben moverse en las guías prismáticas y en las rectangulares, o planas, sin juego alguno. El carro de bancada y el transversal pueden ser movidos a mano o por medio de los husillos de cilindrar o de roscar accionados por el husillo principal.

El cabezal móvil (fig. 1.16) se utiliza como sujeción al tornear piezas largas. En las operaciones de taladrar y de escariar se dispone también en él la herramienta.

El cabezal móvil puede deslizarse sobre la bancada del torno y fijarse mediante el puente accionando la palanca de sujeción. Para desplazar la pínula o punto se utiliza un husillo con volante. La pínula se fija mediante un tornillo que aprieta unas mordazas.

Hay también dos tipos de cabezales móviles en los que la pínula se desplaza por un émbolo mediante aire o aceite a presión. Con esto se consigue una presión uniforme sobre la pieza.

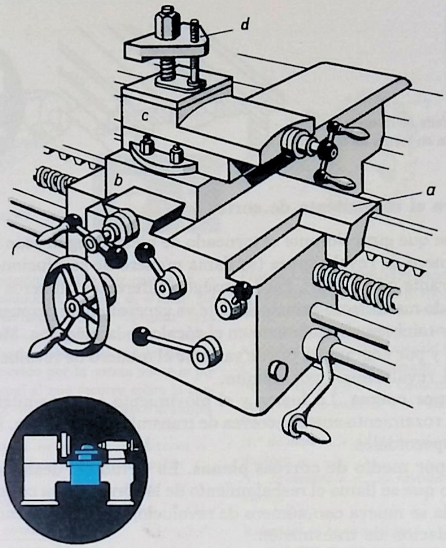


Figura 1.15. Modo de estar constituido el carro portaútil: *a*) carro principal o de bancada; *b*) carro transversal o de refrentar; *c*) torreta; *d*) portaútil; *e*) caja de maniobra.

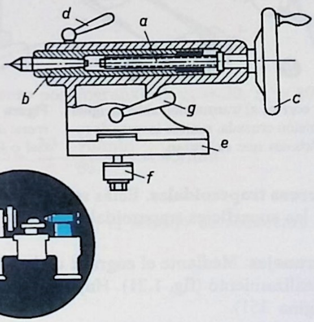


Figura 1.16. Cabezal móvil: *a*) husillo; *b*) pínola; *c*) volante; *d*) mango del tornillo de sujeción de la pínola; *e*) placa de la bancada; *f*) puente; *g*) palanca de fijación.

La bancada soporta todas las piezas del torno y reposa sobre los zócalos. El carro portaútil y el cabezal móvil se mueven sobre superficies de guía. Estas adoptan generalmente la forma de planos inclinados a modo de tejado (fig. 1.17). Existen también guías planas. Con objeto de poder tornear diámetros mayores, va la bancada frecuentemente provista de un puente adicional que se puede quitar.

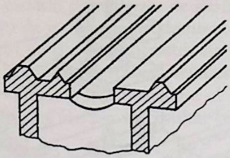


Figura 1.17. Bancada de torno con superficies de guía en forma de tejado.

Mecanismos para el movimiento de corte

El husillo tiene que girar durante el torneado de piezas, según sean las condiciones, con diferente número de revoluciones (se llama número de revoluciones al número de las realizadas durante un minuto). Para conseguir diferentes números de revoluciones se utiliza el llamado mecanismo principal. Este va generalmente dispuesto en el cabezal fijo, pero puede ir también parcialmente en el zócalo de la máquina. Mediante transmisiones por correa y por engranajes puede variarse el número de revoluciones, por ejemplo, 105, 151, 214 revoluciones por minuto.

Transmisión por correa. La fuerza y el movimiento se transmiten de un árbol a otro en virtud del rozamiento entre la correa de transmisión y la polea. Hay correas planas y correas trapezoidales.

Transmisión por medio de correas planas. En virtud del deslizamiento de la correa se produce lo que se llama el resbalamiento de la correa, cuya consecuencia es que la polea conducida se mueva con número de revoluciones un 1 % menor que la correspondiente a la relación de transmisión.

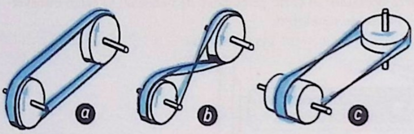


Figura 1.18. Transmisión por correa. *a)* transmisión abierta, igual sentido de rotación; *b)* transmisión cruzada, sentido inverso de rotación; *c)* transmisión para árboles que se cruzan.



Figura 1.19. Sección transversal de correas: *a)* correa plana; *b)* correa trapecial o trapezoidal.

Transmisión por correas trapezoidales. Estas se prestan para pequeñas distancias entre ejes. En virtud de las superficies trapezoidales, apenas resbalan y proporcionan un buen arrastre.

Tranmisión por engranajes. Mediante el engrane de los dientes se da origen a una transmisión exenta de deslizamiento (fig. 1.21). Hay distintos tipos de mecanismos de engranajes (véase la página 251).

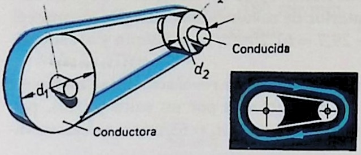
Cálculos para las transmisiones por correas y por engranajes

Ejemplo (accionamiento por correa): $d_1 = 400$ mm, $d_2 = 200$ mm. $n_1 = 80/\text{min}$.* Calcular n_2 e i.

Solución: $n_2 = \dfrac{d_1 \cdot n_1}{d_2} = \dfrac{400 \text{ mm} \cdot 80/\text{min}}{200 \text{ mm}} = 160/\text{min}$

$i = \dfrac{n_1}{n_2} = \dfrac{80/\text{min}}{160/\text{min}} = \dfrac{1}{2}$ (transformación en el sentido de aumento de velocidad)

* $n_1 = 80/\text{min}$; es decir $80 \dfrac{1}{\text{mim}}$ o sea 80 revoluciones por minuto.



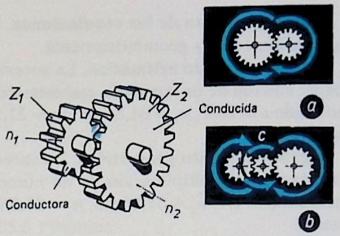


Figura 1.20. Transmisión sencilla por correa. d_1 = diám. de la polea conductora, en mm. d_2 = diám. de la polea conducida, en mm. n_1 = núm. de r.p.m. de la polea conductora, n_2 = núm. de r.p.m. de la polea conducida, i = relación de transmisión o multiplicación. El camino recorrido por la correa sobre la polea conductora es igual al que recorre sobre la conducida. $\pi \cdot d_1 \cdot n_1 = \pi \cdot d_2 \cdot n_2$ (π desaparece al simplificar)

Diám. × núm. de r.p.m. en la polea conductora = Diám. × núm. de r.p.m. en la polea conducida

$d_1 \cdot n_1 = d_2 \cdot n_2$.

Relación de transmisión

$$i = \frac{\text{n.° rev. polea conductora}}{\text{n.° rev. polea conducida}} = \frac{\text{diám. polea conducida}}{\text{diám. polea conductora}}$$

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

Figura 1.21. Transmisión sencilla de engranajes. z_1 = número de dientes de la rueda conductora z_1, z_2 = número de dientes de la rueda conducida z_2, n_1 = número de revoluciones de la rueda conductora z_1, n_2 número de revoluciones de la rueda conducida z_2, i = relación de transmisión, c = rueda intermedia (no influye nada en i). Cada diente de la rueda conductora hace avanzar a la rueda conducida en el valor de un diente.

N.° de dientes × n.° de revoluciones de la rueda conductora =
N.° de dientes × n.° de revoluciones de la rueda conducida

$z_1 \cdot n_1 = z_2 \cdot n_2$

Relación de transmisión

$$i = \frac{\text{n.° rev. rueda conductora}}{\text{n.° rev. rueda conducida}} = \frac{\text{n.° dientes rueda conduc.}}{\text{n.° dientes r. conductora}}$$

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

Ejemplo (accionamiento por engranajes): $z_1 = 30$, $z_2 = 60$, $n_1 = 90/\text{min}$. Calcular n_2 e i

Solución: $n_2 = \dfrac{z_1 \cdot n_1}{z_2} = \dfrac{30 \cdot 90/\text{min}}{60} = 45/\text{min}$

$i = \dfrac{z_2}{z_1} = \dfrac{60}{30} = \dfrac{2}{1}$ (transformación en el sentido de reducción de velocidad).

Transmisiones escalonadas

Las piezas con gran diámetro exigen para ser torneadas en condiciones iguales de material y de cuchilla, un número de revoluciones menor que las piezas de diámetro menor. La causa de ello es la velocidad de corte (pág. 00). Es necesario por lo tanto poder establecer en el husillo del cabezal diversos números de revoluciones. Con objeto de disponer de estos diferentes números de revoluciones, cuando hagan falta, dentro de un determinado campo de revoluciones, por ejemplo de 31 a 1400 revoluciones por minuto, se puede disponer de un número suficientemente grande de escalonamiento de revoluciones. Cuanto mayor número de revoluciones se puedan ajustar tanto mejor se podrá obtener la velocidad de corte deseada.

Escalonamiento de las revoluciones. Los números de revoluciones pueden escalonarse aritmética o geométricamente.

Escalonamiento aritmético. La sucesión de números de revoluciones se forma mediante adición de un sumando a al número anterior de revoluciones; sea por ejemplo el sumando $a = 29{,}7$; $n_1 = 31{,}5$/min, $n_2 = 31{,}5 + 29{,}7 = 61{,}2$/min, $n_3 = 90$/min y así sucesivamente.

Escalonamiento geométrico. La sucesión de números de revoluciones se forma en este caso por multiplicación de un número de revoluciones por un salto φ (fhi), por ejemplo $\varphi = 1{,}4$; $n_1 = 31{,}5$/min, $n_2 = 31{,}5/\text{min} \cdot 1{,}4 = 45$/min, $n_3 = 63$/min y así sucesivamente.

Existen series de números de revoluciones normalizadas por DIN.

Los mecanismos principales están escalonados geométricamente, los mecanismos de avance para la talla de roscas lo están aritméticamente.

Transmisión por polea escalonada

Con una polea escalonada de cuatro diámetros se pueden tener cuatro números diferentes de revoluciones (figura 1.22).

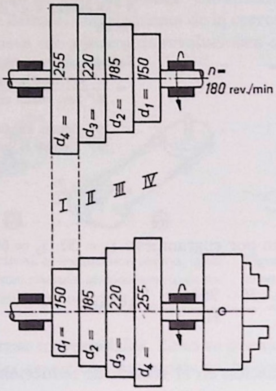


Figura 1.22. Transmisión por polea escalonada.

Ejemplo:
Posición de correa I

$$n_1 = \frac{d_4 \cdot n}{d_1} = \frac{255\text{ mm} \cdot 180\text{ rev/min}}{150\text{ mm}} = 306\text{ rev/min}$$

Posición de correa II

$$n_2 = \frac{d_3 \cdot n}{d} = \frac{220\text{ mm} \cdot 180\text{ rev/min}}{185\text{ mm}} = 214\text{ rev/min}$$

Posición de correa III

$$n_3 = \frac{d_2 \cdot n}{d} = \frac{185 \text{ mm} \cdot 180 \text{ rev/min}}{220 \text{ mm}} = 151 \text{ rev/min}$$

Posición de correa IV

$$n_4 = \frac{d_1 \cdot n}{d_4} = \frac{150 \text{ mm} \cdot 180 \text{ rev/min}}{255 \text{ mm}} = 105{,}8 \text{ rev/min.}$$

La transmisión por polea escalonada es sencilla y resulta barata. Constituyen sendos inconvenientes la pérdida de tiempo del desplazamiento de correa y el peligro que esta operación entraña. En los tornos modernos se emplea muy raramente este mecanismo de accionamiento. Generalmente se emplean engranajes.

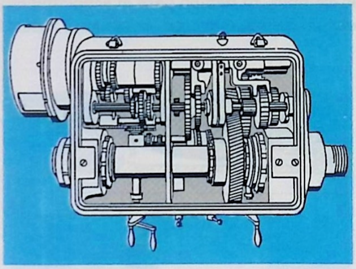


Figura 1.23. Cabezal fijo con engranaje de ruedas escalonadas.

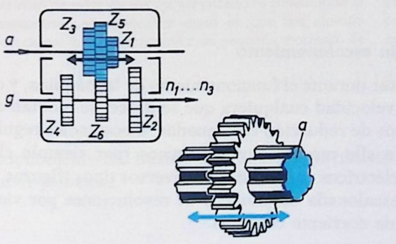


Figura 1.24. Mecanismo de ruedas dentadas de tres escalones con desplazamiento de ruedas. El bloque de ruedas Z_1, Z_3, Z_5 es desplazable sobre el eje de accionamiento *a* que frecuentemente está constituido en forma de árbol estriado o de chavetas en estrella. Las ruedas Z_2, Z_4, Z_6 están fijas sobre el árbol arrastrado *g*. El árbol *a* recibe, mediante un motor, un número de revoluciones constante. Por desplazamiento del bloque de ruedas a las posiciones $Z_5 - Z_6$, $Z_1 - Z_2$, $Z_3 - Z_4$ obtiene el árbol arrastrado tres números diferentes de revoluciones.

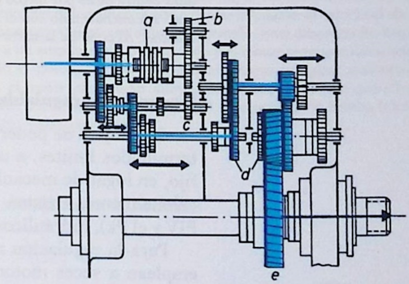


Figura 1.25 Plano de engranajes de un mecanismo principal con 18 escalones en el número de revoluciones. *a*) Embrague doble de láminas para marcha adelante y atrás; *b*) rueda dentada para acoplarla con la rueda *c* para la marcha atrás (representación simplificada); *d*) ruedas dentadas para suprimir el avance; *e*) rueda inferior, con dentado oblicuo, sobre el husillo de trabajo.

Engranaje de ruedas escalonadas

Para variar el número de revoluciones se utilizan ruedas dentadas que pueden hacerse engranar, por embrague, giro o desplazamiento mediante una palanca.

Lo más empleado es el mecanismo de desplazamiento de ruedas (fig. 1.24). Los tres números de revoluciones conseguidos mediante un mecanismo de engranajes de tres escalones no son, por lo general, suficientes. El mecanismo principal de un torno consta generalmente de varios engranajes de dos o de tres escalones montados en un cárter cerrado, estanco al aire (fig. 1.25).

Acoplamiento de los engranajes. Los mecanismos de ruedas dentadas no deben acoplarse nada más que en estado de reposo. Para ello hay que realizar las siguientes operaciones: desacoplar el mecanismo principal; inversión del mecanismo, por ejemplo, desplazamiento del bloque de ruedas; acoplamiento del mecanismo principal. Para acoplar y desacoplar el mecanismo principal se utilizan casi siempre embragues que pueden ser accionados durante el servicio, es decir, mientras sigue funcionando el motor de accionamiento, pudiendo ser embrague de conos, o también de láminas (fig. 1.26), o electromagnético. Este último se acopla y desacopla por un teleinterruptor, como un pulsador, por ejemplo. El tiempo para el acoplamiento del mecanismo de engranajes puede ser acortado mediante frenos, embragues automáticos y dispositivos de preselección.

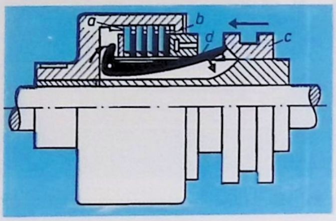


Figura 1.26. Embrague de láminas. Las láminas exteriores *a* están unidas con el cuerpo exterior y las interiores *b* con el cuerpo interior. Mediante accionamiento del manguito de acoplamiento *c* las láminas se aprietan unas contra otras por medio de la palanca *d*. En virtud de esto, el movimiento de rotación del cuerpo interior que está enchavetado con el árbol pasante, es transmitido al cuerpo exterior debido al rozamiento entre las láminas. Al cubo de la parte exterior va unida una rueda dentada para seguir transmitiendo el movimiento.

Mecanismos regulables sin escalonamiento

Con objeto de poder pasar durante el funcionamiento de la máquina, y dentro de determinados límites, a una velocidad cualquiera que se desee, se montan en el cabezal fijo, en lugar de mecanismos de reducción escalonados, mecanismos regulables sin escalonamiento. Existen para ello mecanismos mecánicos (por ejemplo el mecanismo PIV y el Pk), hidráulicos y eléctricos construidos en diversos tipos (figuras 1.27 a 1.29).

Para la regulación no escalonada del número de revoluciones por vía eléctrica se emplean a veces motores de corriente continua.

Los mecanismos sin escalonamiento permiten un mejor aprovechamiento del torno por poderse siempre adoptar en la máquina la velocidad más apropiada.

Mecanismo para el movimiento de avance

Los movimientos de avance y de ajuste pueden conseguirse a *mano* mediante accionamiento de las palancas dispuestas en el carro portaútil. El avance *automático* se ob-

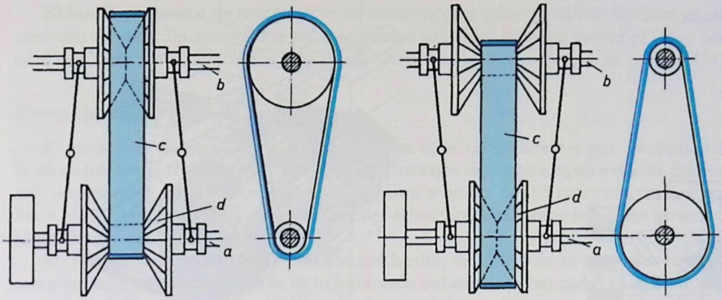


Figura 1.27. El *mecanismo PIV.* El eje *a* es accionado. Para arrastrar al husillo *b* se utiliza la cadena *c*. Las poleas cónicas dentadas pueden desplazarse uniformemente mediante un sistema de palancas. Cuando el eje *b* deba girar a poca velocidad, la cadena estará en *a* en su perímetro interior. Para hacer que el eje *b* gire más rápidamente se separan entre sí mediante el sistema de palancas las poleas cónicas de *b* y se acercan las de *a*. El engranaje no tiene deslizamiento alguno.

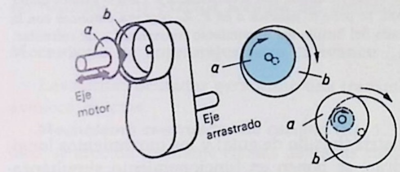


Figura 1.28. El *mecanismo Pk.* El cono *a* recibe del eje motor su movimiento de rotación y arrastra por fricción al anillo de fricción *b*. Cuando el cono es corrido en la dirección del eje se varía sin escalonamiento el número de revoluciones del anillo de fricción por verificarse la transmisión del esfuerzo a través de un diámetro mayor o menor. Con objeto de que el cono trabaje siempre sobre la superficie de fricción del anillo, éste está enlazado de modo oscilante con el eje arrastrado. El movimiento de rotación del eje arrastrado es transmitido al husillo. Este mecanismo se emplea en casos en que con elevado número de revoluciones hay que transmitir un pequeño momento de rotación.

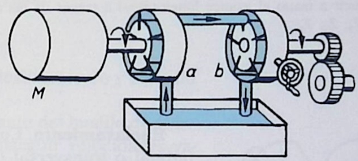


Figura 1.29. El *mecanismo hidráulico* está constituido por una bomba hidráulica *a* y por un hidromotor *b* de la misma construcción que la bomba. La bomba es accionada a un número constante de revoluciones y aspira aceite. Con las cantidades de aceite aspiradas es accionado el hidromotor que está enlazado con el husillo. Mediante descentramiento del hidromotor puede elevarse o bajarse su velocidad sin escalonamiento. Cuando ha sido, por ejemplo, muy descentrado, llega el aceite a un amplio espacio de trabajo y el motor se mueve lentamente; cuando el descentramiento es pequeño tiene que girar más rápidamente el motor para poder admitir la cantidad de aceite que afluye. También puede variarse la velocidad descentrando la bomba (oleohidráulica, véase pág. 263).

tiene por acoplamiento del husillo de cilindrar que obtiene su movimiento de rotación del mecanismo principal.

Mecanismo del carro principal o de bancada

La caja de mecanismos está incorporada en el carro principal. Exteriormente lleva las piezas de maniobra como, por ejemplo, palancas y volantes de mano. El mecanismo de bancada (engranajes de la caja de mecanismos) tiene principalmente la misión de transformar el movimiento de rotación del husillo de cilindrar, en movimiento longitudinal y transversal (figs. 1.30 y 1.31). Existen varios tipos de mecanismos.

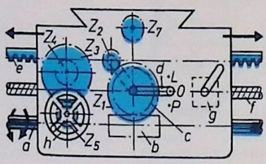


Figura 1.30 Mecanismo de engranajes del carro principal o de bancada (muy simplificado). *a*) Husillo de cilindrar (provisto de ranura longitudinal); *b*) tornillo sin fin que es desplazable sobre el husillo de cilindrar en sentido longitudinal mediante ranura y chaveta; con objeto de que el tornillo pueda seguir el movimiento longitudinal, va soportado en una carcasa, junto a la caja de mecanismos; *c*) rueda helicoidal; *d*) palanca de maniobra, o de embrague; *e*) cremallera; *f*) husillo principal o de cilindrar; *g*) tuerca matriz; *h*) volante de maniobra para producir a mano el avance longitudinal a través de las ruedas dentadas Z_5, Z_4, Z_3.

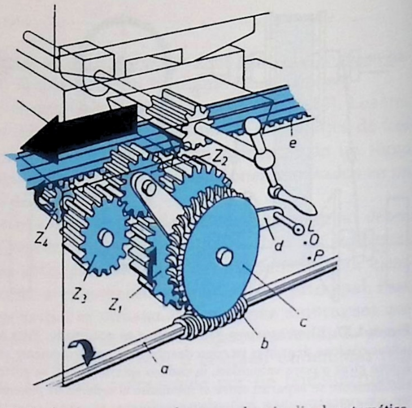


Figura 1.31 Modo de conseguir el avance longitudinal automático (véase también la figura 1.30). El tornillo sin fin *b* mueve la rueda helicoidal *c* con la cual está unida la rueda dentada Z_1. La palanca *d* está en *L*. La rueda dentada oscilante Z_2 engrana con Z_3; Z_4 está dispuesta en el mismo árbol y engrana con la cremallera *e*. Para el avance plano, o transversal, se pone la palanca *d* en *P*; Z_2 engrana entonces con la rueda dentada del husillo del movimiento transversal o de refrentar.

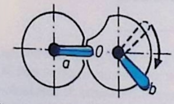


Figura 1.32 Ejemplo de un sistema de enclavamiento. La palanca *b* (por ejemplo, tuerca matriz) no puede maniobrarse sino cuando la palanca *a* (husillo de cilindrar) se halla en la posición 0.

Enclavamiento. Cuando la tuerca matriz (husillo de guía) y los movimientos longitudinal o transversal (husillo de cilindrar) se ponen en funcionamiento simultáneamente por imprevisión, se produce rotura de piezas. Para evitar esto se ha incorporado un mecanismo de enclavamiento que impide la maniobra simultánea de ambas palancas (fig. 1.32).

Tornillo sin fin de caída o basculante. Esta pieza está montada, generalmente, en la caja de mecanismos y origina el desacoplamiento del movimiento de avance cuando el carro portaútil da contra un tope fijo (fig. 1.33).

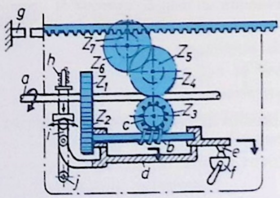


Figura 1.33 Mecanismo del carro de bancada con tornillo sin fin de caída, o basculante. El husillo de cilindrar *a* actúa a través de las ruedas Z_1 y Z_2 sobre el tornillo sin fin de caída *b*. A través de la rueda helicoidal *c* y las ruedas Z_4 ... Z_7 se verifica el avance longitudinal. Cuando el carro portaútil va contra un tope fijo *g*, se detiene el movimiento longitudinal del carro. La rueda helicoidal y las ruedas Z_3 ... Z_7 se detienen. El tornillo sin fin sigue girando movido por las ruedas Z_1 y Z_2 y se desenrosca de la rueda helicoidal con la carcasa *d* del mismo, hacia la derecha o hacia la izquierda. La palanca *i*, que está presionada por el resorte *h*, se mueve alrededor del punto de giro *j*. El saliente *e* se desliza entonces saliéndose del trinquete *f*; la carcasa cae y el tornillo sin fin deja de engranar. Mediante el resorte *h* puede ajustarse una determinada presión de avance.

El husillo de guía o de roscar sirve únicamente para tallar tornillos. Obtiene su movimiento de rotación igualmente del mecanismo principal y puede mover el carro portaútil en dirección longitudinal con ayuda de la tuerca matriz (véase la página 234).

Clases de mecanismos de avance

El avance da origen al espesor de viruta y se mide en milímetros por revolución de la pieza (mm/rev) (figura 1.34). Los distintos trabajos de torno exigen avances diferentes; por ejemplo, para el desbastado se emplean avances de 0,5 mm/rev; para el acabado, de 0,1 mm/rev. Para un avance grande, el husillo de cilindrar tiene que girar más rápidamente que para uno pequeño.

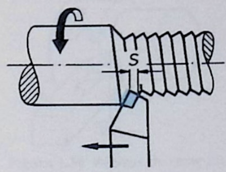


Figura 1.34 El avance *s* da origen al espesor de viruta (el avance *s* se ha dibujado muy aumentado).

Si, por ejemplo, para *una* revolución del husillo de cilindrar se desplaza 1 mm el carro portaherramientas a causa de la reducción del carro de bancada, cuando se pide un avance de 1 mm/rev, el husillo de cilindrar tendrá que dar una revolución para *una* revolución de la pieza, si se pide 0,5 mm/rev, 1/2 revolución; si se pide 0,25 mm/rev, 1/4 de revolución.

Los distintos números de revoluciones necesarios en el husillo de cilindrar se consiguen en virtud de mecanismos de avance, de los que existen distintos tipos, por ejemplo el mecanismo de avance por correas, el de ruedas de cambio, el de chaveta móvil, el mecanismo Norton y el de ruedas desplazables.

El mecanismo de avance por correas se emplea hoy muy poco porque los avances no resultan muy exactos a causa del deslizamiento de las correas.

Mecanismo de engranajes para el avance

Las ruedas dentadas garantizan una transmisión exenta de deslizamiento y con ello avances exactos.

Mecanismo con ruedas de cambio (fig. 1.35). El accionamiento del husillo de cilindrar se efectúa mediante ruedas dentadas cambiables. Para conseguir velocidades variadas, y con ello los avances deseados, hay que cambiar las ruedas cada vez. El procedimiento resulta muy engorroso.

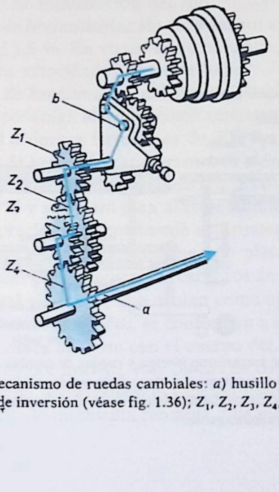


Figura 1.35 Mecanismo de ruedas cambiales: *a*) husillo de cilindrar; *b*) mecanismo de inversión (véase fig. 1.36); Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, ruedas cambiables.

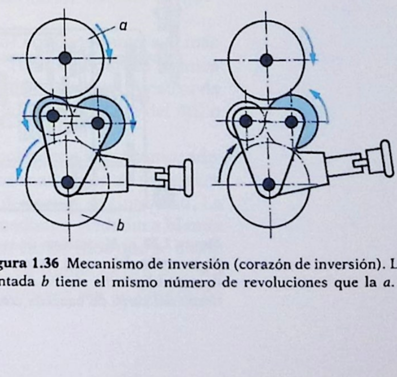


Figura 1.36 Mecanismo de inversión (corazón de inversión). La rueda dentada *b* tiene el mismo número de revoluciones que la *a*.

Mecanismos de inversión de marcha

Con objeto de hacer que el carro portaútil pueda correr de derecha a izquierda o de izquierda a derecha, tiene que poderse invertir el sentido de giro de los husillos de roscar y de cilindrar, o el del tornillo sin fin de caída. Esta misión la cumple el mecanismo de inversión de marcha o de avance. La variación del sentido de giro se produce, generalmente, intercalando otra rueda dentada. Existen mecanismos inversores de distintos tipos (figs. 1.36 y 1.38).

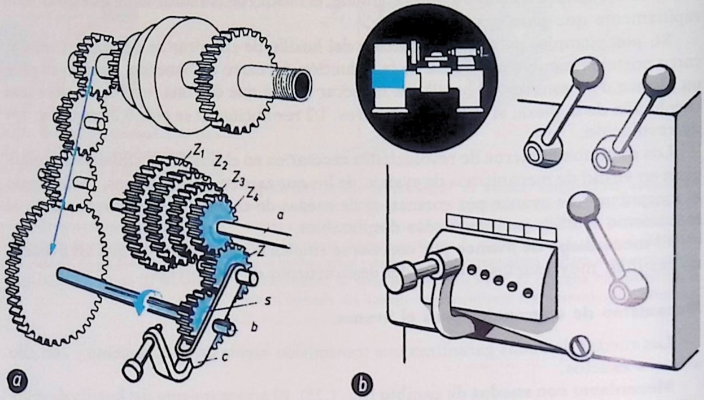


Figura 1.37 *a*) Mecanismo de avance Norton. El husillo de cilindrar *a* lleva las ruedas Z_1, Z_2, Z_3, Z_4. Sobre el árbol *b*, que es accionado por el husillo portaútil, está dispuesta, de modo desplazable por ranura y chaveta, la rueda *s*. Esta engrana con la rueda oscilante *Z*. Accionando la palanca oscilante *c*, puede hacerse engranar la rueda oscilante con las ruedas escalonadas Z_4 ... Z_1. Después de cada maniobra se retiene el balancín mediante una espiga que encaja en el agujero correspondiente a cada posición. *b*) Vista exterior de un mecanismo Norton.

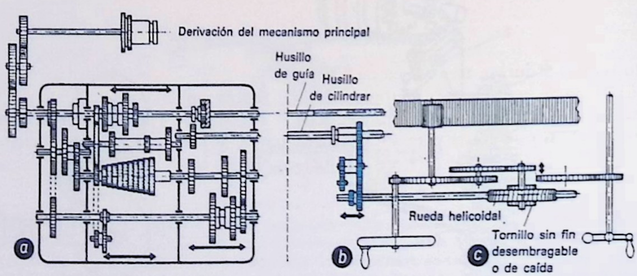


Figura 1.38 *a*) Mecanismo de avance compuesto por mecanismo Norton y ruedas de cambio, *b*) mecanismo de inversión del avance como parte componente del mecanismo del carro de bancada; variación del sentido de giro del tornillo sin fin desembragable o de báscula mediante bloque de ruedas desplazables; *c*) mecanismo del carro de bancada con tornillo sin fin desembragable.

Mecanismo de chaveta móvil. En este mecanismo se hacen engranar entre sí ruedas dentadas de distintos tamaños, en virtud de una chaveta móvil. Por este medio puede ajustarse rápidamente el avance que se desee.

El mecanismo Norton (fig. 1.37) se suele llamar también *mecanismo de rueda oscilante*. Mediante una palanca oscilante puede hacerse engranar una rueda dentada con otras de diferentes tamaños. Con ello se varían los números de revoluciones del husillo de cilindrar y también los avances mediante una maniobra de muy corta duración.

Mediante un **mecanismo de ruedas desplazables** puede conseguirse también regular el avance.

Los **mecanismos de chaveta móvil, Norton** y **de ruedas desplazables** se encuentran frecuentemente reunidos en las cajas de engranajes para el avance, con lo cual pueden establecerse gran cantidad de avances.

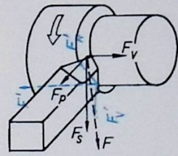


Figura 1.39 Fuerzas de corte en la cuchilla de torno: Fuerza total de corte F, descompuesta en fuerza principal de corte F_s, fuerza de avance F_v y fuerza pasiva F_p.

Fuerzas de corte

Para la penetración del filo de la cuchilla de torno en el material y arranque de las virutas se necesita una fuerza total de corte (fuerza de arranque de viruta) F, que puede descomponerse en las fuerzas F_s, F_v y F_p.

Cuchilla de torno

Lo mismo que casi todas las herramientas con filos geométricamente determinados, también la cuchilla de torno consta de una parte cortante y de una parte para sujeción del útil.

Las herramientas tienen que satisfacer dos condiciones importantes:

1. El lugar activo para el arranque de virutas tiene que ser con filo cuneiforme.
2. El material de la parte cortante –llamado material cortante– tiene que ser apropiado para el arranque de virutas.

La cuña del filo es solicitada por esfuerzos de corte, calentamiento y desgaste.

Los **materiales cortantes** tienen que ser duros, tenaces, duros a altas temperaturas (resistentes al recocido o revenido) y resistentes al desgaste. La dureza es importante para que el filo pueda penetrar en el material. Cuando la tenacidad es escasa, el filo se rompe. Se necesita una determinada dureza térmica con objeto de que se mantenga el filo cuando éste se calienta con el arranque de viruta. La resistencia al desgaste debe evitar la rápida inutilización del filo.

El *acero de herramientas sin alear* (acero al carbono) tiene un contenido de carbono (C) del 0,5 al 1,5 %. En virtud de su reducida dureza térmica (250°C) es apropiado únicamente para velocidades de corte bajas.

El *acero de herramientas débilmente aleado* contiene un 0,8 a 2 % de C y hasta un 5 % de componentes aleados, como tungsteno (W), molibdeno (Mo), vanadio (V), cobalto (Co). La dureza térmica es de 400°C.

El *acero de herramientas fuertemente aleado* (acero rápido) contiene junto a C más de un 5 % de componentes de aleación. Existen varios tipos. Tiene una dureza térmica de unos 600°C y se presta para altos rendimientos en el arranque de viruta. A causa de su elevado precio, frecuentemente este material forma sólo la parte cortante del útil o incluso se hace con él únicamente una placa.

Los *metales duros* constan de carburos de tungsteno, de molibdeno y de titanio, además de níquel y cobalto, que actúan como aglomerantes. Los materiales se prensan a partir de su estado en polvo, se conforman a modo de placas de corte y se sinterizan. La unión de la placa de corte con el cuerpo del útil se realiza mediante soldadura blanda o por sujeción por aprieto. Hay placas de corte giratorias con varios filos que se hacen entrar en juego sucesivamente. Cuando todos los filos están ya romos se tira la placa porque el afilado no resulta rentable. Los metales duros constituyen por su dureza, re-

sistencia al desgaste y dureza en caliente unos magníficos materiales de corte. Permiten el trabajo a velocidades de corte muy elevadas y sirven para trabajar materiales muy duros (por ejemplo el vidrio). Los metales duros son sensibles al choque (el filo se rompe) y a las oscilaciones bruscas de temperatura (formación de grietas). Existen distintos tipos de metales duros (véase pág. 35).

Cerámica de corte. Estos materiales de corte están constituidos por sustancias cerámicas (tales como, por ejemplo, el óxido de aluminio) o por materiales compuestos de cerámica y metales. Estos materiales compuestos se llaman Cermets (cerámica + metales). Las placas de corte se suministran en forma de placas de corte giratorias y son más baratas que las de metal duro. Son características suyas las siguientes propiedades: dureza en caliente hasta los 1000ºC, gran dureza, elevada resistencia al desgaste, tenacidad reducida, sensibilidad al choque. Aplicación: pasadas de acabado y arranque fino de viruta en metales.

El *diamante* es el material de corte más duro, es resistente al desgaste y muy sensible al choque. Se afila en cuña y se fija a un soporte. Aplicación: arranques finos de viruta en materiales no férreos y en materiales abrasivos sintéticos.

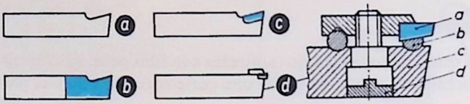


Figura 1.40 Útiles de torno, *a*) Cuchilla hecha totalmente de acero de herramientas o acero rápido (cincel enterizo, ejecución V), *b*) parte cortante constituida por acero rápido soldada a tope (ejecución S), *c*) placa de acero rápido sobrepuesta y soldada (ejecución *P*) o placa de metal duro con soldadura blanda, *d*) diamante con soporte (*a*, diamante, *b*), apoyo, *c* soporte, *d* precinto.

Geometría en la cuña del filo (forma del filo)

En la cuchilla de torno se distinguen el vástago o mango y la cabeza cortante. El vástago sirve para sujetar el útil. En la cabeza cortante se encuentra la cuña del filo. La forma del filo se ocupa de las superficies, filos y ángulos que se presentan en la cuña del filo.

Superficies de la pieza (fig. 1.41). Las superficies que ininterrumpidamente se forman bajo el filo, en la pieza, se llaman *superficies de corte.* Las superficies de corte que permanecen en la pieza constituyen de acuerdo con DIN 4760 la *superficie exterior* de la pieza que se trabaja.

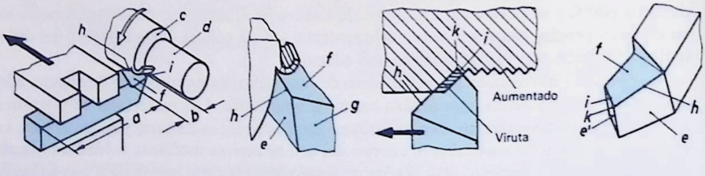


Figura 1.41 Cuchilla de torno y mango. *a*) Mango, *b*) cabeza cortante, *c*) superficie de corte (en la pieza), *d*) superficie exterior (de la pieza), *e*) superficie de incidencia del corte principal, *e'*) superficie de incidencia del corte secundario, *f*) superficie de ataque, *g*) cuña del filo, *h*) filo principal, *i*) filo o corte secundario, *k*) punta.

Filos y superficies en la cuña del filo. Las líneas de corte de las superficies que limitan la cuña son los filos.

El *filo o corte principal* va dirigido en la dirección del avance y arranca generalmente la viruta del lado ancho.

Los *filos o cortes secundarios* son los que no apuntan en la dirección del avance.

El filo principal y el secundario se juntan en la punta [fig. 1.41, K]. Esta punta frecuentemente está *redondeada* o *a bisel*.

Superficie de ataque es la superficie de la cuña del filo sobre la cual se desliza la viruta.

Superficies de incidencia son las superficies en la cuña del filo que están encaradas con las superficies de corte formadas. Está la superficie de incidencia del filo principal y la correspondiente al filo secundario.

Ángulos en la cuña del filo. Se distingue aquí entre ángulos del útil y ángulo eficaz. Los primeros se refieren a la forma de la herramienta; no a la del corte. Tienen importancia para su fabricación y mantenimiento. Los ángulos eficaces se refieren a la herramienta y a la pieza en el proceso de arranque de viruta.

Los **ángulos de la herramienta** se miden con ayuda de un sistema de referencia de la herramienta que está constituido por los planos correspondientes (fig. 1.42).

El *plano de referencia* está dispuesto en la cuchilla de torno paralelo a la superficie de apoyo.

El *plano del filo de la herramienta* es perpendicular al plano de referencia.

El *plano de medición de la cuña* es perpendicular al plano de referencia y al del filo.

El *ángulo de incidencia* α es el formado por la superficie de incidencia y el plano del filo.

El *ángulo de filo, o de cuña,* β es el que forman la superficie de ataque y la superficie de incidencia.

El *ángulo de ataque* γ *de la herramienta* es el formado por la superficie de ataque y el plano de referencia.

Los ángulos α, β y γ sumados dan 90° (α + β + γ = 90°). Pueden comprobarse mediante una plantilla (fig. 1.43).

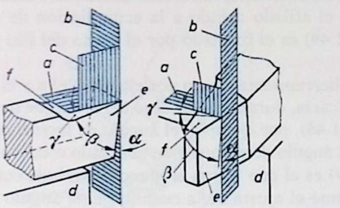


Figura 1.42 Sistema de referencia de la herramienta (simplificada) y ángulos importantes. *a*) Plano de referencia; *b*) plano del filo; *c*) plano de medición de la cuña de la herramienta; *d*) superficie de apoyo, *e*) superficie de incidencia; *f*) superficie de ataque α) ángulo de incidencia; γ ángulo de ataque, β) ángulo de filo o de cuña.

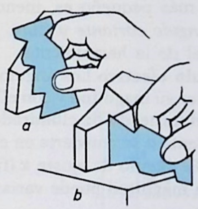


Figura 1.43 *a*) Verificación del ángulo de filo o de cuña; *b*) Verificación del ángulo de incidencia. Hay que colocar la plantilla de verificación perpendicular al filo principal.

Significado de los ángulos de la herramienta α, β y γ. Estos ángulos existen en todas las cuchillas de torno. Su magnitud correcta se rige sobre todo por el material que se ha de trabajar.

Ángulo de filo o de cuña, β. Un ángulo agudo de filo penetra, en verdad, más fácilmente en el material que uno menos agudo, pero se rompe con facilidad al arrancar vi-

rutas de materiales duros porque es menos resistente y además el calor se elimina peor. Un material duro exige un ángulo de filo más obtuso que un material blando (fig. 1.44).

El *ángulo de incidencia* α debe disminuir la fricción entre la superficie de incidencia y la de corte.

El *ángulo de ataque* γ, cuando es grande, facilita el arranque de viruta y la eliminación de las mismas. Un agrandamiento arbitrario no es sin embargo posible porque en este caso resultaría demasiado pequeño el ángulo de filo.

Los *achaflanamientos* (fig. 1.45) en las superficies de arranque y de incidencia mejoran el corte y aumentan la duración del afilado.

Además de los ángulos de incidencia, de filo o cuña, y de ataque, en algunas cuchillas de torno se consideran otros ángulos. El *ángulo de inclinación de la herramienta* λ (figs. 1.46 y 1.47) es el existente entre el filo principal y el plano de referencia. De esta inclinación depende que más pronto o más tarde se rompa la viruta. Se logra así una salida de virutas exenta de sacudidas.

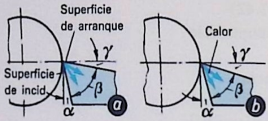


Figura 1.44 *a)* Cuña de filo para materiales duros; *b)* Cuña de filo para materiales blandos.

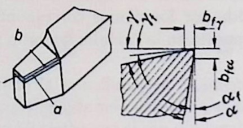


Figura 1.45 Chaflanes en la cuchilla de torno. *a)* chaflán de la superficie de incidencia (anchura $b_{f\alpha}$), *b)* chaflán de la superficie de ataque (anchura $b_{f\gamma}$), *c)* chaflán de la superficie del filo secundario, ángulo libre de los chaflanes α_f, ángulo del chaflán de la viruta γ_f

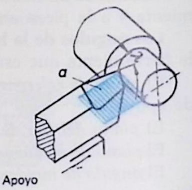


Figura 1.46 Ángulo de inclinación de la herramienta λ, *a)* plano de referencia de la herramienta.

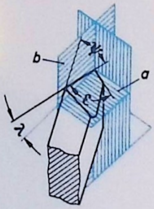


Figura 1.47 *a)* Plano de referencia de la herramienta, *b)* plano del filo de la herramienta, λ ángulo de inclinación de la herramienta, ε ángulo de la punta, ψ ángulo del filo.

El *ángulo de la punta* ε, (fig. 1.47) está formado por los filos principal y secundario. Cuanto más pequeño es, menos dura el afilado debido a la acumulación de calor.

El *ángulo cortante* ψ (figs. 1.47 y 1.49) es el formado por el plano del filo y el eje principal de la herramienta.

Ángulo efectivo.Los ángulos de la herramienta, como por ejemplo, el α y el γ, pueden variar su magnitud y con ello su eficacia, durante el proceso del arranque de viruta.

En el torneado de cilindrado (fig. 1.48), por ejemplo, el ángulo de incidencia de la herramienta α se convierte en el α_e y el ángulo de ataque γ en el ángulo efectivo de ataque γ_e. El ángulo de ajuste κ (fig. 1.49) es el que forma el plano de trabajo con el del filo. (Su magnitud puede variar mediante el ajuste de la cuchilla. Este ángulo influye

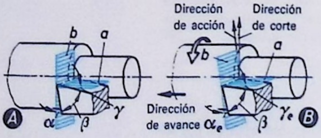


Figura 1.48 Comparación entre el ángulo de la herramienta y el ángulo efectivo (simplificado). *A)* Ángulo de la herramienta α, γ (herramienta que no trabaja), *a)* plano de referencia de la herramienta, *b)* plano del filo de la herramienta. B) Ángulo efectivo α_e, γ_e ($\alpha_e < \alpha$; $\gamma_e > \gamma$), *a)* plano de referencia efectivo, *b)* plano del filo efectivo.

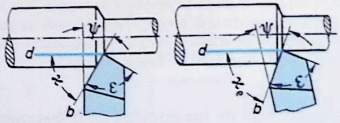


Figura 1.49 κ ángulo de ajuste, ψ ángulo del filo, ε ángulo de la punta. *b)* plano del filo, *d)* plano de trabajo, κ_e ángulo efectivo de ajuste.

sobre la forma de la sección de la viruta, el tiempo de duración entre afilado y afilado y sobre las fuerzas de reacción y de avance [véase página siguiente]).

Tipos de útiles de torno

Cada trabajo de torno exige el útil más apropiado de modo que habrá que escoger según se trate desbastar, afinar, taladrar, tallar engranajes, etc., el útil cuya forma se adapte convenientemente a esos trabajos (véase pág. 7). Los principales útiles de torno están normalizados.

Las cuchillas de torno rectas y curvas (fig. 1.50) sirven para desbastar.

Al desbastar se trata de arrancar en poco tiempo una gran cantidad de viruta y por esta razón los útiles de desbastar tienen que ser de construcción robusta. La calidad de la superficie de corte basta que corresponda a la de desbastado (véase página 47).

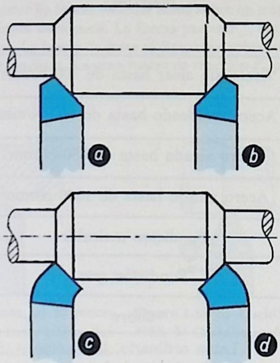


Figura 1.50 Útiles de corte rectos, DIN 4951; útiles curvos, DIN 4952; *a*) útil recto con corte a la izquierda; *b*) útil recto con corte a la derecha; *c*) útil curvado con corte a la izquierda; *d*) útil curvado con corte a la derecha.

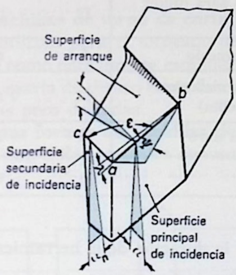


Figura 1.51 Designaciones en el útil recto:

a	punta,
a – b	filo principal,
a – c	filo secundario,
α	ángulo de incidencia del filo principal,
$α_n$	ángulo de incidencia del filo secundario,
γ	ángulo de ataque,
λ	ángulo de inclinación,
ψ	ángulo cortante o del filo,
ε	ángulo de la punta.

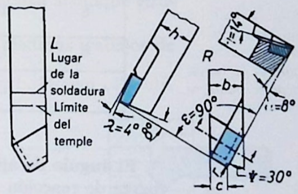


Figura 1.52 Útil recto de torno con filos de acero rápido DIN 4951. *L* cuchilla de torno recta con corte a la izquierda, ejecución *V* y *S*; *R* cuchilla de torno recta con corte a la derecha, ejecución *P*. *Ejemplo* para la designación de una cuchilla recta a la derecha (*R*) con sección transversal del mango de 32 mm de altura por 20 mm de anchura (designación abreviada 3220) ejecución *P*, placa cortante de acero rápido con ángulos corrientes de la herramienta (α = 8°; γ = 14°; ψ = 30°): Cuchilla de torno *R* 3220 *P* DIN 4951.

Según la posición del corte principal puede distinguirse entre herramientas con *corte a la derecha* o con *corte a la izquierda.*

Para la distinción entre útiles con corte a la derecha o a la izquierda ha de tenerse en cuenta lo siguiente: El útil se considera con su cabeza dirigida contra uno mismo y con la cara del corte hacia arriba; si entonces se tiene el corte o filo principal hacia la derecha se dice que el útil es de corte a la derecha y si el corte o filo principal cae a la izquierda, el útil se llamará de corte a la izquierda.

Tabla 1.1 Valores prácticos para los ángulos de corte en el torneado con herramientas de acero rápido y de metal duro (Extracto de AWF158)

Acero rápido		Material	Metal duro	
α*	γ°		α°	γ°
8	14	Acero sin alear hasta de 700 N/mm^2	6	12
8	10	Acero moldeado hasta de 500 N/mm^2	6	8
8	14	Acero aleado hasta de 850 N/mm^2	6	10
8	10	Acero aleado hasta de 1000 N/mm^2	6	8
8	10	Fundición maleable	6	10
8	0 a 6	Fundición gris	6	0 a 6
8	18	Cobre	8	18
8	0 a 6	Latón ordinario, latón rojo, fundición de bronce	6	0 a 6
12	30	Aluminio puro	12	30
12	18	Aleaciones de aluminio para fundir y para forjar	12	14
8	6	Aleaciones de magnesio	8	6
8	14	Materiales prensados aislantes (Novotext, baquelita)	12	0 a 14
8	10	Goma dura, papel duro	12	0 a 10
–	–	Porcelana	6	0

El ángulo de ajuste κ (fig. 1.53) influye en la duración de la herramienta y en la fuerza de reacción F_R que actúa sobre la pieza.

El redondeamiento de la punta (fig. 1.54) aumenta, en virtud de la buena eliminación del calor, la duración de la herramienta y mejora la calidad superficial.

La cuchilla de torno puntiaguda y la ancha (fig. 1.55) se prestan para trabajos finos. La más empleada es la cuchilla puntiaguda.

Mediante el afinado o acabado tiene que obtenerse en la pieza una superficie lisa. En combinación con esto se mantienen en general pequeñas tolerancias. Se necesita una superficie exterior lisa por distintos motivos: en piezas deslizantes, por ejemplo en el caso del gorrón en el cojinete, se disminuye la fricción gracias a la lisura de las su-

perficies. Las estrías del torneado, aun cuando sean muy pequeñas pueden dar lugar a la rotura de un árbol en virtud de la acción de entallado; frecuentemente es necesario dar a las piezas un buen aspecto por la lisura de sus superficies. Generalmente, en el acabado se arrancan virutas muy delgadas

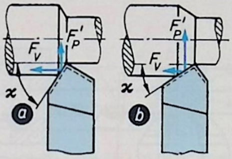


Figura 1.53 *a)* Gran ángulo de ajuste: La fuerza de corte actúa sobre un trozo corto del filo principal; en virtud de la fuerte carga la herramienta dura poco. La fuerza pasiva F_p', que tiende a curvar la pieza, es pequeña. *b)* Pequeño ángulo de ajuste: La fuerza de corte se distribuye sobre un trozo largo de filo, y por esto se tiene una duración larga de la herramienta. La gran fuerza de reacción F_R puede hacer que flexen las piezas delgadas.

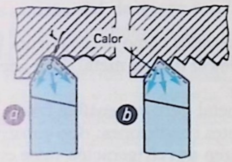


Figura 1.54 Influencia de la punta. *a)* El redondeamiento da una superficie más lisa y buena disipación del calor; *b)* la punta afilada en combinación con un ángulo de la misma pequeño produce superficies rugosas y acumulación del calor.

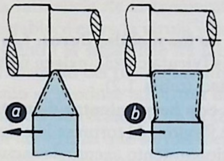


Figura 1.55 *a)* Cuchilla puntiaguda DIN 4955, *b)* Cuchilla ancha DIN 4956.

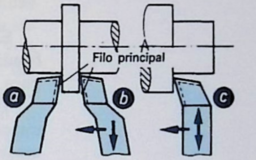


Figura 1.56 *a)* Cuchilla acodada lateral izquierda, *b)* cuchilla acodada lateral derecha DIN 4960, *c)* Cuchilla esquinada curva a la derecha DIN 4965.

Las **cuchillas de torno de corte lateral** y las **curvadas de corte por arista** (fig. 1.56) se utilizan para el torneado plano (refrentado) de collares y de superficies de apoyo así como para tornear esquinas en ángulo. La cuchilla de torno de corte lateral se mueve al usarla de dentro hacia fuera, de tal modo que el filo principal arranque virutas anchas pero delgadas.

Diversas formas de cuchillas de torno (fig. 1.57). Para los distintos trabajos de torno existen útiles con filos convenientemente conformados.

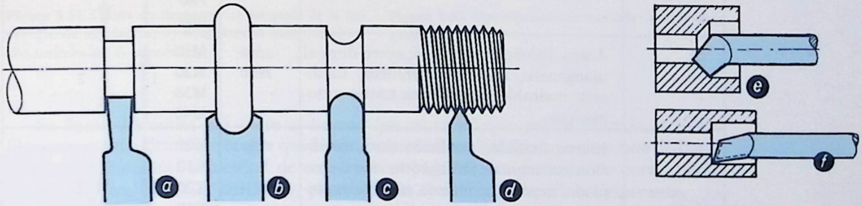


Figura 1.57 Ejemplos de formas diversas de cuchillas de torno. *a)* Cuchilla para tronzar DIN 4961, *b)* y *c)* cuchillas de forma, *d)* cuchilla para roscar, *e)* cuchilla para torneados interiores DIN 4953, *f)* cuchilla de punta para interiores DIN 4954.

Los **mangos** (fig. 1.58) se prestan para sujetar placas de corte. Son de acero de construcción barato y ahorran el empleo de acero de herramientas, que es caro.

Cuchillas de torno con placas de corte de metal duro

Estas cuchillas están normalizadas por DIN y por ISO (fig. 1.59).

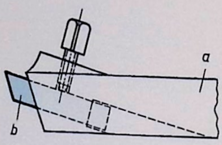


Figura 1.58 Mango *a*) con placa de tornear *b*).

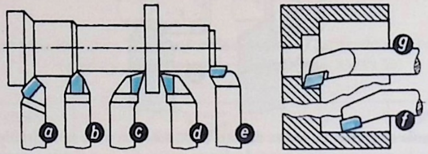


Figura 1.59 Cuchillas de torno con placas de corte de metal duro (selección). *a*) Cuchilla de cilindrar ISO 1 recta a la derecha, *b*) cuchilla de torno, de punta, *c*) cuchilla de torno acodada a la izquierda, *d*) cuchilla de torno acodada a la derecha ISO 3, *e*) cuchilla de torno de corte frontal acodada a la derecha ISO 5, *f*) cuchilla para tornear interiores ISO 8, *g*) cuchilla para tornear interiores ISO 9.

Elección de los metales duros. Los distintos materiales como acero (viruta larga), fundición gris (viruta corta), exigen para ser trabajados el tipo de metal duro adecuado para cada caso (tabla 1.2).

Trabajos con herramientas de metal duro. El metal duro es sensible frente a solicitaciones de flexión. Al torno se le exigen las siguientes condiciones: tipo constructivo estable; funcionamiento exento de sacudidas; el circuito de refrigeración tiene que funcionar sin perturbaciones.

Tabla 1.2. Designación de los metales duros. Flecha 1: aumento de la resistencia al desgaste del metal duro, aumento de la velocidad de corte. Flecha 2: aumento de la tenacidad del metal duro, aumento del avance.

Letras características	Grupos principales para los materiales en cuanto a arranque de viruta	Color característico	Grupos de aplicación en cuanto a arranque de viruta
P	Acero, fundición de acero, función maleable de viruta larga	azul	P01 P10 P20 1 ↑ ↓ 2 P30 P40 P50
M	Acero, fundición de acero, acero duro al manganeso, aceros austeníticos, fundición maleable, acero para tornos automáticos	amarillo	M10 M20 1 ↑ ↓ 2 M30 M40
K	Hierro fundido, fundición dura, fundición maleable de viruta corta, acero templado, metales no férreos, materiales sintéticos	rojo	K01 K10 K20 1 ↑ ↓ 2 K30 K40

Al tornear hay que tener en cuenta las siguientes condiciones fundamentales: elección del tipo correcto de metal duro; sujeción firme de la herramienta (de modo seguro); arranque de viruta a plena velocidad de corte. Necesidad o no de lubricación refrigerante; puesta en marcha la circulación del refrigerante antes de ajustar el arranque de viruta; antes de parar la máquina retirar el avance pues en caso de no hacerlo se rompería el filo.

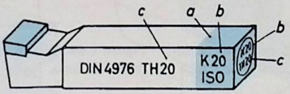


Figura 1.60 Caracterización de una cuchilla de torno ISO. *a*) Calor característico, *b*) grupo de aplicación en cuanto a arranque de viruta, *c*) tipo de metal duro (fabricante).

Desgaste del filo

Se llama desgaste a la aparición de erosiones (auténticos desgastes) en el filo (cuña cortante).

Las **causas del desgaste** son la fricción y la influencia de la temperatura. Ambas causas actúan simultáneamente. La fricción se establece entre la viruta y la llamada superficie de viruta de la herramienta (hombro) y entre la superficie de incidencia y la pieza. Por la fricción se arrancan partículas del material del filo en las superficies llamadas de viruta y de incidencia. El calentamiento se produce en virtud de la fricción entre las superficies y de los procesos de arranque y de recalcado en la formación de las virutas. Con temperatura creciente presentan las virutas que se van formando coloridos de revenido o recocido, por ejemplo amarillo, rojo, azul. El material cortante puede ablandarse a altas temperaturas, con lo que se acelera el desgaste. Se dan las siguientes clases de desgaste: desgaste de la superficie de incidencia, desgaste del hombro, redondeamiento y socavado. Además del desgaste propio, el filo puede romperse.

Consecuencias del desgaste. Los filos romos penetran difícilmente en el material. La temperatura aumenta con ello y actúa, en círculo vicioso, aumentando más el desgaste. La superficie exterior de la pieza resulta áspera. A causa del desgaste de la superficie de incidencia disminuye la profundidad de viruta (fig. 1.62).

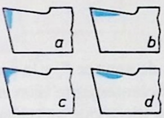


Figura 1.61 Clases de desgaste: *a*) desgaste de la superficie de incidencia; *b*) desgaste del hombro; *c*) redondeamiento; *d*) socavado.

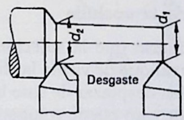


Figura 1.62 Discrepancia de medidas por el desgaste, $d_2 > d_1$.

Se llama **duración del corte** al tiempo (en minutos) que puede estar la cuña del filo arrancando viruta hasta que queda totalmente roma. Este tiempo depende de las siguientes influencias: velocidad de corte (véase pág. 34), magnitudes de corte, herramienta (forma, material cortante), pieza (forma, material), líquido refrigerante.

Afilado de las cuchillas de torno. Para esta operación hay que tener en cuenta: 1. afilar a su debido tiempo porque si el filo está muy desgastado el costo de la operación resulta muy elevado (tiempo, material de corte); 2, para el afilado previo hay que em-

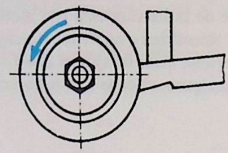


Figura 1.63 Afilado por la periferia de la muela. Inconveniente: formación de superficies cóncavas.

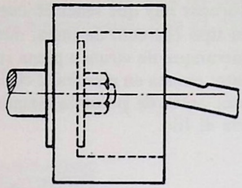


Figura 1.64 Afilado por la parte frontal de una muela de copa. Ventaja: superficies afiladas planas.

plear una muela basta y para el final una muela fina; 3, evítese el ahondar en el afilado de la superficie de incidencia; 4, la muela debe moverse contra el filo; la presión del afilado debe ser moderada únicamente; 5, refrigerar abundantemente o de lo contrario, mejor afilar en seco, porque una refrigeración escasa puede ocasionar grietas en el filo; 6, verificar el ángulo con la plantilla de afilar; 7, las placas de metal duro deben afilarse con muela de carburo de silicio; 8, cumplir las normas de seguridad en el trabajo.

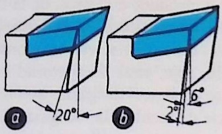


Figura 1.65 Efecto del afilado cóncavo (ángulo de incidencia demasiado grande); afilado de la superficie de incidencia (¡el material del vástago hay que afilarlo con ángulo de incidencia 2° mayor!)

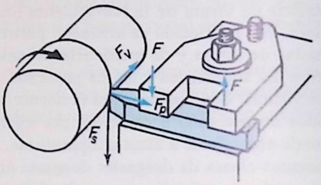


Figura 1.66 Fuerzas que intervienen en el arranque de viruta: Fuerza principal de corte F_s; fuerza de avance F_v; fuerza pasiva F_p; fuerza de sujeción del útil F.

Sujeción de la cuchilla

Es necesario que la sujeción sea firme y segura.

En el arranque de viruta las fuerzas y, sobre todo, la de avance F_v y la pasiva F_p, (fig. 1.66) pueden desplazar de sitio la cuchilla si no está suficientemente bien sujeta. A consecuencia de esto puede romperse el filo, inutilizarse la pieza que se trabaja, salir disparada de su asiento la cuchilla y ocasionar un accidente. El desplazamiento se evita mediante la fricción entre las superficies de sujeción que produce la fuerza de sujeción.

El puente de sujeción (fig. 1.67) sujeta firmemente la cuchilla incluso en los casos de cortes fuertes.

El portacuchillas cuádruple (fig. 1.68) hace posible la sujeción simultánea de cuatro cuchillas de torno que pueden ponerse sucesivamente con rapidez en posición de trabajo.

Ajuste del útil de torno

Los ángulos de corte α y β no tienen la magnitud deseada nada más que cuando el corte del útil se coloca a la altura del eje longitudinal de la pieza (fig. 1.69). Ajustando el

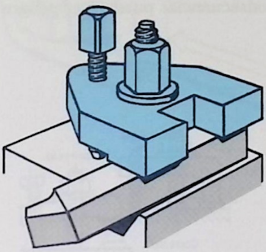


Figura 1.67 Puente de sujeción.

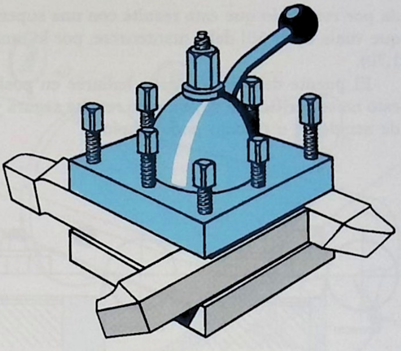


Figura 1.68 Portacuchillas cuádruple.

útil por encima o por debajo de ese eje se alteran los ángulos de incidencia y de ataque y con ello también su efectividad.

Posición sobre el centro de la sección recta de la pieza. En tal caso α se hace menor y se produce mayor rozamiento entre las superficies de incidencia y de corte; γ aumenta, la viruta se desprende fácilmente y pueden tomarse mayores espesores de viruta. A veces se suele disponer de útil de torno por encima del centro citado (hasta en un 2 % del diámetro de la pieza) para la operación de desbastado.

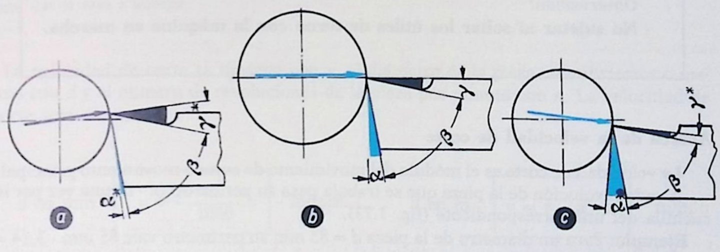


Figura 1.69 Influencia de la posición en altura del útil sobre la magnitud de los ángulos de incidencia y de ataque: *a*) útil por encima del centro de la sección recta de la pieza; *b*) útil a la altura de ese centro; *c*) útil por debajo del centro.

Posición por debajo del centro de la sección recta de la pieza. Aumenta α y con ello se da lugar a un rozamiento menor entre las superficies de incidencia y de corte; γ se hace menor y las virutas se desprenden con dificultad.

La altura correcta del útil de torno se obtiene calzando con chapas que habrán de ser planas y estar limpias.

La fuerza de corte hace trabajar el útil a flexión, siendo la flexión experimentada tanto mayor cuanto mayor sea el vuelo con que se ha sujetado el útil. Como consecuencia del encorvamiento experimentado, oscila el útil introduciéndose en la pieza, lo que

da por resultado que ésta resulte con una superficie rugosa, poco limpia. La longitud que vuela en el útil debe mantenerse, por lo tanto, todo lo pequeña que se pueda (fig. 1.70).

El puente de sujeción debe hallarse en posición horizontal (figura 1.71). Cuando esto no se verifica, la sujeción no resulta segura y las consecuencias pueden ser peligro de accidente o trabajo poco limpio.

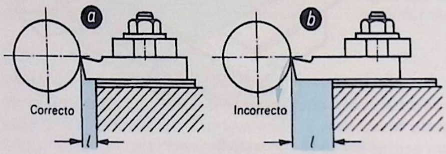


Figura 1.70 El útil ha de sujetarse con tan poco vuelo como sea posible: *a*) longitud libre (l) pequeña, correcto: *b*) longitud libre demasiado larga, incorrecto.

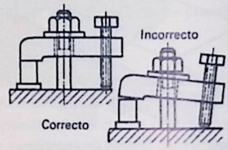


Figura 1.71 Sujeción del útil por medio del puente de sujeción.

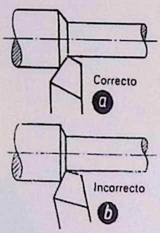


Figura 1.72 Posición del útil con relación al eje de rotación de la pieza: *a*) útil perpendicular al eje de rotación (correcto); *b*) útil oblicuo con relación al eje de rotación (incorrecto).

Los útiles deben sujetarse perpendicularmente al eje de rotación de la pieza que se tornea (fig. 1.72) con objeto de que si las virutas son gruesas, flexen separándose de la pieza.

> *Observación:*
> **No sujetar ni soltar los útiles de torno con la máquina en marcha.**

Acerca de la velocidad de corte

La velocidad de corte es el módulo del movimiento de corte o movimiento principal.

A cada revolución de la pieza que se trabaja pasa su perímetro ($\pi \cdot d$) una vez por la cuchilla del útil correspondiente (fig. 1.73).

Ejemplo. Para un diámetro de la pieza $d = 85$ mm su perímetro vale 85 mm · 3,14 = 267 milímetros = 0,267 m. A 100 revoluciones por minuto, corresponden, por lo tanto, 0,267 m · 100 rev/min = 26,7 m por minuto recorridos por un punto de la periferia y ésta es, por lo tanto, la velocidad circunferencial de la pieza.

La velocidad circunferencial de la pieza es, al mismo tiempo, la velocidad con que es arrancada una viruta y se llama *velocidad de corte*.

La velocidad de corte constituye una medida de la rapidez del movimiento de corte.

El recorrido (por ejemplo, en metros) en la unidad de tiempo (por ejemplo, en un minuto), se llama velocidad.

A la velocidad de un movimiento circular se le llama velocidad circunferencial o periférica.

El recorrido de corte por minuto corresponde a la velocidad circunferencial y, por tanto, también a la de arranque de viruta.

La *velocidad de corte es el espacio de corte recorrido, en metros por minuto (m/min)*.

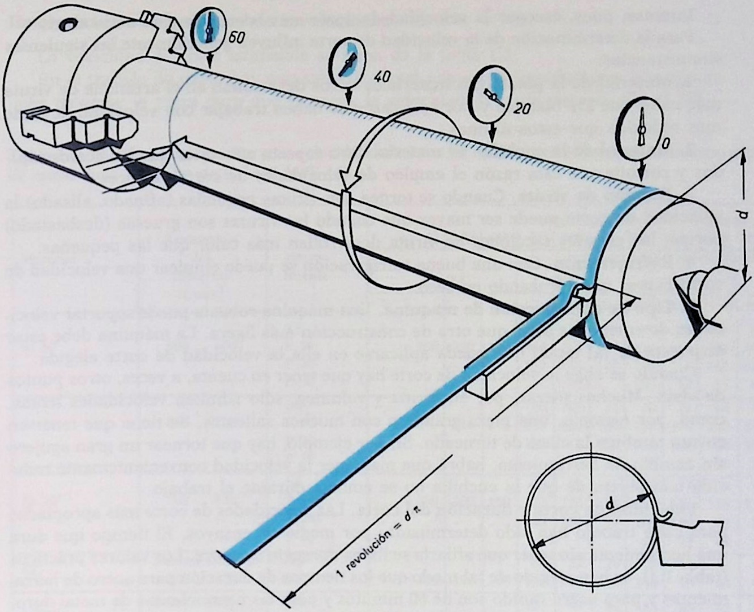


Figura 1.73 Velocidad de corte al tornear. Observación: Como diámetro a tornear d se toma el máximo en el lugar que se vaya a trabajar.

La velocidad de corte se designa con v, el diámetro de la pieza en milímetros o metros con d y el número de revoluciones de la pieza por minuto con n. La velocidad de corte será entonces

d en mm $\quad \boxed{v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}}$ m/min. $\qquad$ d en m $\quad \boxed{v = \pi \cdot d \cdot n}$ m/min

Ejemplo: Tratemos de calcular la velocidad de corte a que se tornea una pieza. Datos: diámetro de la pieza $d = 50$ mm, número de revoluciones $n = 160$/min.

Solución: $v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$; $v = \frac{3{,}14 \cdot 50 \text{ mm} \cdot 160 \text{ rev/min}}{1000} = 25{,}12$ m/min.

No se puede trabajar con una velocidad de corte cualquiera. Si la velocidad de corte es demasiado *pequeña*, el tiempo invertido en el trabajo resulta demasiado largo, y si la velocidad es demasiado *grande*, la cuchilla pierde su dureza como consecuencia del fuerte calentamiento sufrido y se desgasta rápidamente, teniendo que ser afilada con frecuencia.

Interesa, pues, escoger la velocidad de corte más adecuada para cada caso.

Para la determinación de la velocidad de corte influyen generalmente las siguientes circunstancias:

1. Material de la pieza. Los materiales duros desarrollan en el arranque de viruta más calor que los blandos y por esta razón se deben trabajar con velocidad de corte más reducida que estos últimos.

2. Material de la cuchilla. El material duro soporta más calor que los aceros rápidos y permite por esta razón el empleo de velocidades de corte mayores.

3. Sección de viruta. Cuando se tornea con virutas pequeñas (afinado, alisado) la velocidad de corte puede ser mayor que cuando las virutas son gruesas (desbastado) porque las grandes secciones de viruta desarrollan más calor que las pequeñas.

4. Refrigeración. Con una buena refrigeración se puede emplear una velocidad de corte mayor que torneando en seco.

5. Tipo de construcción de máquina. Una máquina robusta puede soportar velocidades de corte más altas que otra de construcción más ligera. La máquina debe estar dispuesta de tal modo que pueda aplicarse en ella la velocidad de corte elegida.

Cuando se elige la velocidad de corte hay que tener en cuenta, a veces, otros puntos de vista. Muchas piezas, por su forma y volumen, sólo admiten velocidades lentas, como, por ejemplo, una pieza grande o con muchos salientes. Se tiene que tener en cuenta también la clase de torneado. Si, por ejemplo, hay que tornear un gran agujero sin cambio de herramienta, habrá que mantener la velocidad convenientemente reducida con objeto de que la cuchilla no se embote durante el trabajo.

Velocidad de corte y duración del corte. Las velocidades de corte más apropiadas para cada trabajo han sido determinadas por medio de ensayos. El tiempo que dura una herramienta sin tener que afilarla se llama *duración del corte*. Los valores prácticos (tabla 1.3), se han elegido de tal modo que los tiempos de duración para acero de herramientas y para acero rápido son de 60 minutos y para las herramientas de metal duro, de 240 o 480 minutos. Si se elige una velocidad de corte más alta que la que indican las tablas, el tiempo de duración será menor y en caso contrario sucederá al revés.

A cada velocidad de corte corresponde una duración determinada y recíproca; v_{60} = 30 m/min significa que el corte a una velocidad de 30 m/min durará 60 minutos; v_{240} = 150 m/min, corresponde a 240 minutos de duración del corte.

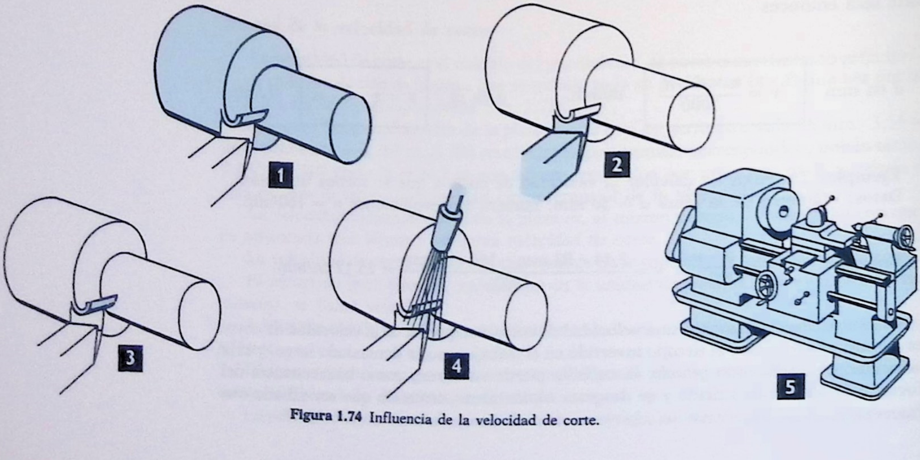


Figura 1.74 Influencia de la velocidad de corte.

Determinación del número de revoluciones

La velocidad de corte admisible se toma de la tabla 1.3.

En el trabajo de torno hay que saber con qué *número de revoluciones* por minuto debe moverse la pieza para que se tenga la velocidad de corte deseada (fig. 1.75).

Tabla 1.3. Valores de orientación para velocidades de corte en m/min para el torneado con acero rápido (SS) y herramientas de metal duro. Extracto de la hoja AWF 158.

Material	Resistencia del material N/mm²	Herramienta	Duraciones de la herramienta en min														
			60	240	480	60	240	480	60	240	480	60	240	480	60	240	480
			Avances en mm/revolución														
			0,1			0,2			0,4			0,8			1,6		
			Velocidades de corte *v* en m/min														
St 50	500 ... 600	SS				48	34	28	36	25	21	27	19	16	20	14	12
		P 10	300	250	224	265	212	190	224	180	160	190	150	132			
		P 20				180	140	125	150	118	106	125	100	90	106	85	75
		P 30							100	80	71	85	67	60	71	56	50
St 60	600 ... 700	SS				40	28	24	30	21	18	22	16	13	17	12	10
		P 10	280	236	212	250	200	180	212	170	150	180	140	125			
		P 20				150	118	106	125	100	90	106	85	75	90	71	63
		P 30							85	67	60	71	56	50	60	48	43
St 70	700 ... 850	SS				32	22	19	24	17	14	18	13	11	13	9,5	8
		P 10	250	200	180	212	170	150	170	132	118	132	106	95			
		P 20				125	100	90	100	80	71	80	63	56	63	50	45
		P 30							67	53	48	53	43	38	43	34	30
GG	Dureza Brinell 200 ... 250	SS				32	22	19	18	13	11	13	9,5	8	9,5	6,7	5,6
		K 10	150	106	90	125	90	75	106	75	63	90	63	53	75	53	45
Latón	Dureza Brinell 80 ... 120	SS				125	95	80	85	63	53	56	43	36	36	27	22
		K 20	1320	600	400	1180	530	355	1000	450	300	900	400	265	800	355	236
Aleac. de Al 11 ... 13 % Si		SS	100	56	43	67	38	28	45	25	19	30	17	13			
		K 20	500	224	150	425	190	125	355	160	106	315	140	95	265	118	80
Goma dura		K 10	600	300	212	560	280	200	500	250	180	450	224	160	400	200	140
Papel duro		K 10	560	280	200	475	236	170	400	200	140	335	170	118	300	140	106

Determinación del número de revoluciones mediante cálculo

Ejemplo I: Se quiere calcular el número de revoluciones dados los siguientes datos: $d = 125$ mm; $v = 20$ m min.

Solución:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 20 \text{ m/min}}{3{,}14 \cdot 125 \text{ mm}} \approx 51 \text{ rev/min}$$

Ejemplo II: Se quiere calcular el número de revoluciones partiendo de los siguientes datos: $d = 55$ mm; $v = 20$ m/min.

Solución:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 20 \text{ m/min}}{3{,}14 \cdot 55 \text{ mm}} \approx 116 \text{ rev/min}$$

Comparando ambos ejemplos se ve que para la misma velocidad de corte, las piezas de gran diámetro han de girar más lentamente que las de diámetro pequeño (fig. 1.75). Por esta razón son tan importantes para el trabajo de torno los mecanismos para el cambio del número de revoluciones.

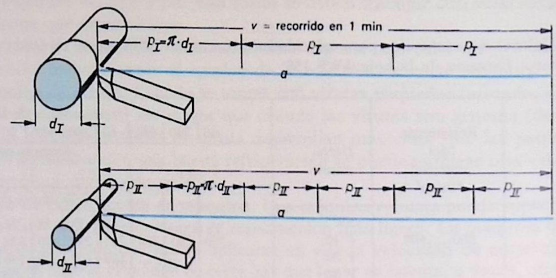


Figura 1.75 Cálculo del número de revoluciones.

Determinación del número de revoluciones por medio de gráficos de la velocidad de corte

El cálculo del número de revoluciones exige mucho tiempo. En el taller lo más corriente es leer el número de revoluciones en un gráfico (fig. 1.76). Estos gráficos o diagramas, que pueden adoptar diversas formas, van frecuentemente dispuestos en los mismos tornos.

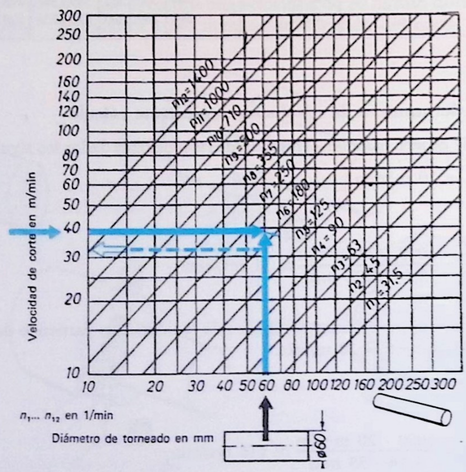


Figura 1.76 Diagrama de velocidades de corte.

Ejemplo I: $d = 60$ mm; $v =$ m/min; $n = ?$

Solución: En el diagrama se sigue hacia arriba la vertical que arranca de los 60 mm y hacia la derecha la horizontal que arranca de los 40 m/min. El punto de intersección de estas rectas se halla comprendido entre las rayas $n_6 = 180$ y $n_2 = 250$; en este caso se elige $n_6 = 180$. Con esto se obtiene una velocidad de corte (véase la flecha hacia la izquierda) de ≈ 34 m/min.

Ejemplo II: $d = 100$ mm; $v = 80$ m/min; $n = ?$

Solución: En 100 mm se levanta una vertical y por 80 m/min se traza una horizontal hacia la derecha que se corta con la citada vertical en la raya $n_7 = 250$/min.

Ejemplo III: Una pieza de 50 mm de diámetro se tornea con número de revoluciones igual a 500 por minuto. ¿Qué magnitud tiene la velocidad de corte?

Solución: Por los 50 mm se traza hacia arriba una vertical hasta que corta al rayo $n_9 = 500$; la horizontal que desde ese punto de intersección va hacia la izquierda nos determina la velocidad de corte $v \approx 80$ m/min.

Magnitudes de corte

Además de la velocidad de corte y del número de revoluciones en el arranque de viruta hay que tener cuidado en elegir correctamente el avance y la profundidad de corte (fig. 1.78).

Avance (s) es el recorrido en mm que efectúa la pieza por cada revolución, por ejemplo, $s = 0{,}8$ mm/revolución.

La profundidad de corte (a) se mide en milímetros perpendicularmente al plano de trabajo.

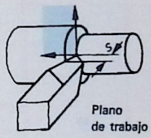


Figura 1.77 Profundidad de corte.

Del avance (s) multiplicado por la profundidad de corte (a) se deduce, en mm², la *sección transversal* S de la viruta.

Ejemplo: $s = 0{,}8$ mm/revolución, $a = 3$ mm. Calcúlese S.

Solución: $S = s \cdot a = 0{,}8 \text{ mm} \cdot 3 \text{ mm} = 2{,}4 \text{ mm}^2$.

Las secciones *a*, *b*, *c* (fig. 1.78) son de igual magnitud. La sección *c* es, no obstante, menos conveniente que las *a* y *b* porque la presión de la viruta (presión de corte) y el calor desarrollado durante el torneado, solamente se reparten sobre la poca cuchilla que está actuando, con lo cual resulta muy castigada y disminuye su duración. En las secciones *a* y *b* el avance y la profundidad de corte son los mismos, pero en virtud del menor ángulo de ajuste la viruta *a* resulta más ancha y más delgada que la *b*.

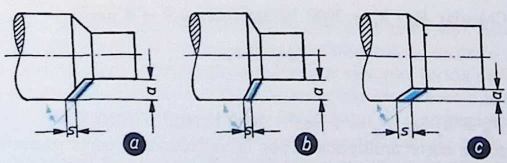


Figura 1.78 Influencia de la profundidad de corte. *a* del avance *s* y del ángulo de ajuste sobre la sección de viruta: *a*) y *b*) secciones de viruta convenientes, *c*) sección de viruta no conveniente.

Es conveniente trabajar con pequeño avance, con gran profundidad de corte (o sea de viruta) y con ángulo de ajuste de 30° a 45°. La relación entre el avance y la profundidad debe oscilar entre 1 : 5 y 1 : 10.

Clases de virutas (fig. 1.79). En los materiales frágiles, quebradizos, como la fundición o el bronce, las virutas se desprenden en forma de *virutas arrancadas*. Las *virutas cortadas* se forman en el caso de materiales tenaces y reducidas velocidades de corte. Cuando los materiales trabajados son tenaces y las velocidades de corte elevadas, se forman las llamadas *virutas plásticas*; en este caso la superficie obtenida es muy lisa.

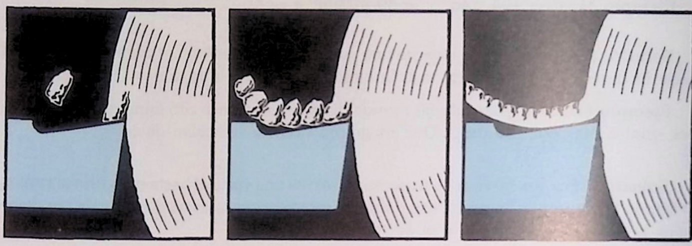


Figura 1.79 Clases de virutas. Viruta arrancada (izquierda), viruta cortada (centro), viruta plástica (derecha).

Formas de virutas. Las virutas pueden tener formas distintas: virutas finas (virutas en forma acicular, virutas desmenuzables), virutas cortas (virutas en trozos espirales y helicoidales), virutas largas (hélices largas y estrechas o anchas, virutas enmarañadas). En el torneado son deseables las virutas cortas por no ser peligrosas y porque se transportan fácilmente. Se obtienen mediante esmerilado de un escalón en la cuchilla por medio del cual la viruta se curva y se quiebra a continuación.

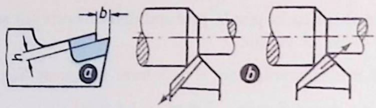


Figura 1.80 *a*) Escalón para guiar a la viruta ($h = 0{,}4$ a $0{,}6$ mm, $b = 2$ a 5 mm). *b*) Influencia del ángulo del escalón sobre la dirección de salida de la viruta.

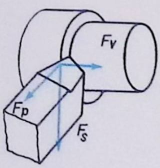


Figura 1.81 Fuerzas que intervienen en el arranque de viruta.

Fuerza de corte y potencia (fig. 1.81). De las fuerzas que intervienen en el arranque de viruta la fuerza de corte F_H es la mayor. Puede ser calculada. La fuerza para arrancar una viruta de 1 mm² de sección transversal se llama fuerza específica de corte k_s. Para St 50, k_s vale unos 2000 N/mm², para St 70 unos 2300 N/mm², para aleaciones de Al, aproximadamente 800 N/mm². Para igual potencia de accionamiento una fuerza de corte grande exige una velocidad de corte pequeña.

Ejemplo: Calcular $F_H \cdot k_s = 2000$ N/mm² (acero) $S = 4$ mm².

$$F_H = S \cdot k_s$$

Solución: $F_H = S \cdot k_s$; $F_H = 4 \text{ mm}^2 \cdot 2000 \text{ N/mm}^2 = 8000 \text{ N}$

Del esfuerzo de corte multiplicado por la velocidad de corte puede obtenerse la *potencia* del motor de accionamiento del torno. Como la potencia de accionamiento es fija (por ejemplo 5 kW), una gran fuerza de corte exige una velocidad de corte reducida e inversamente.

MECANIZADO DE PERNOS

Los pernos tienen aplicación en construcción de maquinaria y en construcción de montajes y aparatos así como en la de vehículos (figuras 1.82 y 1.83). Se construyen de acero, y con diámetros que varían de los 3 a los 100 mm (diámetros normalizados). Generalmente los pernos se hallan sometidos a esfuerzos de cortadura o de flexión (fig. 1.84).

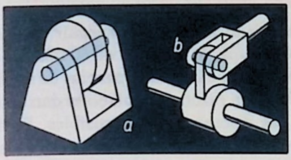


Figura 1.82 Ejemplos de aplicación de pernos; *a*) soporte de un rodillo; *b*) unión articulada.

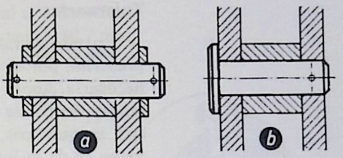


Figura 1.83 Forma de pernos: *a*) perno sin cabeza (DIN 1433); *b*) perno con cabeza (DIN 1434).

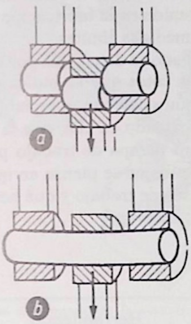


Figura 1.84 Modo de trabajar los pernos: *a*) esfuerzo cortante; *b*) flexión.

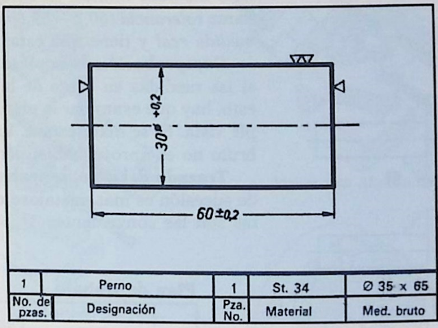


Figura 1.85 Dibujo de taller.

Los pernos no se mecanizan en el torno ordinario sino cuando se trata de piezas sueltas. Cuando se trata de gran número de piezas se utilizan los tornos-revólver o automáticos.

Ejemplo de trabajo: Trabajo encargado: Construir un perno de acuerdo con el plano (fig. 1.85).

Para construir piezas se necesitan informaciones sobre el trabajo. Estas informaciones se reducen a datos sobre la forma y a datos tecnológicos.* Los *datos sobre la forma* vienen dados generalmente en el plano de taller; por ejemplo, forma de la pieza, medidas y naturaleza de la superficie. Los *datos tecnológicos* se refieren a la fabricación en sí misma, por ejemplo, orden de sucesión de los trabajos de mecanización (plan de trabajo), elección de las herramientas, datos sobre la velocidad de corte y avance.

Lectura del plano. La interpretación del plano es condición previa para poder fabricar la pieza valiéndose de él.

* Tecnología – Procedimientos de fabricación.

Además de los datos relativos a la forma de la pieza, el plano debe facilitarnos otros datos como por ejemplo el material, las medidas brutas y el número de piezas

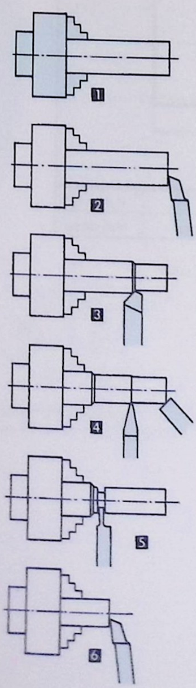
La naturaleza de la superficie queda señalada por los símbolos de mecanización correspondientes. El perno tiene que ser alisado, o afinado. (▽▽) en su superficie lateral y desbastado (▽) en sus caras frontales o bases. El diámetro y la longitud vienen dadas en el plano como cotas de ajuste.

Tolerancias

Cuando se fabrica una pieza no resulta nunca posible conseguir la *medida teórica* prescrita; por ejemplo, en el caso que nos ocupa, la longitud de 60 mm, ni es tampoco necesaria. Ahora bien,lo que sí es necesario es que las discrepancias de medida se mantengan dentro de determinados límites. Por esta razón en el plano se dan datos categóricos, inequívocos, sobre la magnitud de las discrepancias admisibles. Ejemplo: En el plano se da la longitud del perno con la notación $60 \pm 0{,}2$. Esta cota se llama *medida tolerada*. Está compuesta por la *medida normal* (o teórica) (60) y las difrencias $+0{,}2$ (diferencia superior) y $-0{,}2$ (diferencia inferior). La *medida máxima* es $60 + 0{,}2 = 60{,}2$ mm. La *medida mínima* es $60 - 0{,}2 = 59{,}8$ mm. La medida máxima y la mínima se llaman medidas límites. La diferencia entre la medida máxima y la medida mínima se llama *tolerancia* ($60{,}2 - 59{,}8 = 0{,}4$ mm). La medida obtenida en la fabricación se llama *medida real* y tiene que estar comprendida entre las medidas límites.

Comprobación de la pieza en bruto. A la vista del plano se determina por medición si las medidas en bruto de la pieza corresponden a las cotas que se indican. Aparte esto, hay que examinar la pieza por si el material presentara defectos apreciables a simple vista. Si se manifestase, una vez que ya se está trabajando en ella, que la pieza en bruto no es aprovechable, perderíamos inútilmente un tiempo de trabajo precioso.

Trazado del plan de trabajo. Antes de empezar a trabajar se piensa en qué orden de sucesión es más ventajoso que se ejecuten los procesos de trabajo y qué herramientas son las convenientes.



Plan de trabajo

	Fases de trabajo	Herramientas
1	Sujeción de la pieza en bruto	Plato de sujeción
2	Refrentado de la cara frontal	Útil de corte lateral
3	Desbastado	Útil de desbastar
4	Afinado, desbarbado	Útil de afinar, útil a mano
5	Tronzado	Útil de tronzar
6	Refrentado de la segunda cara frontal, desbarbado	Útil de corte lateral, útil a mano
Instrumentos de medida, regla de acero, pie de rey		

El perno hay que «trabajarlo de la barra» y, por lo tanto, la pieza en bruto que nos den debe venir en forma de barra. Para este trabajo resulta adecuado un torno de puntos de tamaño mediano.



Sujeción de la pieza en bruto (fig. 1.93). Para sujetar la barra puede emplearse el plato de tres garras. El perno, después de cilindrado, se separa de la barra por tronzado, razón por la cual la barra deberá sobresalir bastante del plato.

Torneado de pernos

La pieza en bruto se suministra a veces cortada en forma oblicua. Mediante refrentado se hace que las caras frontales queden planas y normales al eje de la pieza (fig. 1.86). Como herramienta de torno se utiliza una cuchilla acodada lateral a la derecha.

Con *una* pasada se desbasta el perno a un diámetro de, aproximadamente, 30,7 mm, empleando para ello un útil de desbastar recto con corte a la derecha (fig. 1.87).

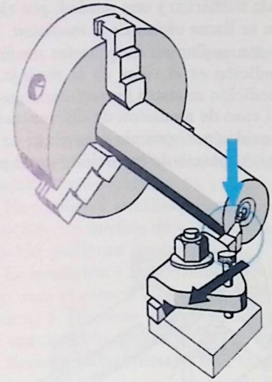


Figura 1.86 Refrentado de la superficie frontal.

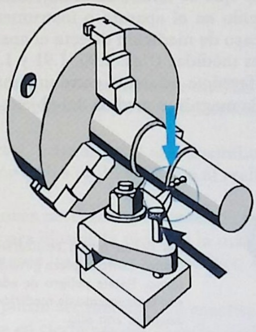


Figura 1.87 Desbastado del perno.

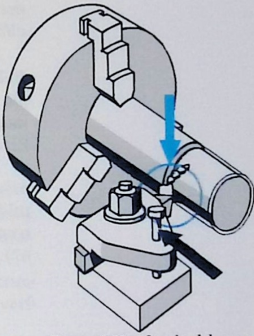


Figura 1.88 Afinado del perno.

Para obtener una velocidad de corte de 25 m por minuto se necesita un número de revoluciones igual a 250 rev/min. Resulta conveniente adoptar un avance de 0,3 mm por revolución.

En el afinado se tornea el perno a su medida final con útil de punta de afinar (fig. 1.88). Cuando se dan medidas de ajuste debe tenderse en la fabricación a conseguir dentro de lo posible la medida media porque así queda garantizada una buena adaptación con otros elementos constructivos. En el caso de la medida de ajuste ∅ 30 + 0,2 la medida media sería por ejemplo (30,2 + 30) : 2 = 30,1 mm. La velocidad de corte podría ser ahora 30 m/min. Con objeto de que resulte una superficie exterior fina (véase pág. 47) habría que escoger un avance pequeño, por ejemplo 0,1 mm/rev.

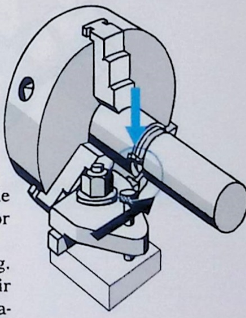


Figura 1.89 Tronzado del perno.

Mediante tronzado se separa de la barra el perno obtenido (figura 1.89).

Como después del tronzado debe ser aún refrentada la otra cara frontal, habrá que tronzar el perno a una longitud algo mayor que la nominal. Después de tronzar hay que refrentar la 2.ª cara frontal y tornear el perno a la longitud que debe tener. Además, habrá que matar los cantos. Con objeto de que no se produzcan en la superficie del perno las marcas de las mordazas, se emplea un manguito de sujeción.

Medición de pernos. Las medidas y la calidad superficial deben corresponderse con los datos que figuran en el plano. Para realizar las mediciones se prestan bien el pie de rey y el calibre de profundidades, porque la magnitud de la tolerancia se corresponde con la precisión de la lectura (0,1 mm). La medida real debe hallarse comprendida entre las cotas límites.

Técnica de la verificación de longitudes en la fabricación* (DIN 2257)

Verificar es determinar si el objeto que se comprueba corresponde a las medidas y forma exigidas. Las medidas y las formas vienen determinadas mediante longitudes y ángulos. Las longitudes son, por ejemplo, los diámetros, las distancias entre resaltos o escalones, etc.; los ángulos se determinan mediante relación de longitudes. La verificación se estructura dentro de las actividades de la medición y el calibrado.

Medir es comparar una longitud con un aparato de medición. El resultado de la medición es la medida real. Está compuesta por un dato numérico y una unidad, por ejemplo 15 mm. El objeto en que se realiza la medición se llama *objeto de la medición*. Las magnitudes que se miden en el objeto de la medición se llaman *magnitudes medidas*. El valor leído en el aparato o instrumento de medición es el *valor de la medida*.

En el caso de medición directa el aparato de medición muestra inmediatamente las magnitudes medidas (figs. 1.90, 1.91 y 1.92). En el caso de medición de diferencias se mide la diferencia existente entre una medida conocida (por ejemplo una galga de extremos) y la magnitud medida del objeto, mediante un aparato de medición (véase pág. 67).

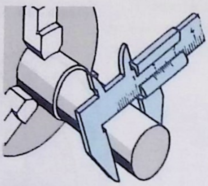


Figura 1.90 Medición del diámetro con el pie de rey ordinario.

No deben nunca realizarse mediciones sobre la pieza girando en el torno. Existe peligro de accidente y el instrumento de medición sufre desgaste con ello.

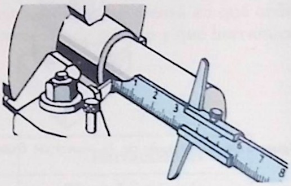


Figura 1.91 Medición de la longitud con el pie de rey de profundidades.

Calibrar es comparar el objeto que se verifica con un calibre (véase pág. 66). El resultado del calibrado es la determinación de si el objeto que se verifica sobrepasa un determinado límite.

Los **medios de verificación** se clasifican en aparatos o instrumentos de medición, calibres y medios auxiliares. Los aparatos de medición existen en forma de aparatos indicadores y de aparatos que materializan la medida.

Los **aparatos indicadores** son instrumentos con un indicador (por ejemplo el pie de rey, el pálmer, el reloj o medidor de esfera). En los casos de una indicación fija (analo-

* Para una exposición más detallada, véase Gerling: Medición de longitudes. Libro de consulta acerca de los procedimientos de medición en fabricación, Editorial Reverté, S.A., Barcelona.

gadores) la lectura se hace en una escala. La indicación a saltos (indicación dígita) se realiza en forma de cifras que se leen en un visor del aparato.

Las **materializaciones de medidas** materializan las medidas por medio de la distancia entre trazos (medición por trazos, fig. 1.92), por medio de la distancia entre superficies (galga de extremos, véase página 75) y por medio de la posición angular de superficies (plantilla de extremos, véase pág. 133). En la medición no se mueven en estos casos unas piezas contra otras.

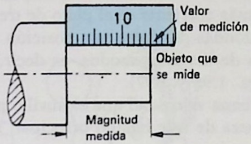


Figura 1.92 Denominaciones en medición.

Los **calibres** son elementos para verificación que materializan la medida o la forma o ambas cosas, del objeto a verificar (calibres o plantillas de formas, calibres de tolerancias, véanse páginas 66 y 82).

Hay **medios auxiliares** (tales como soportes, prismas etc.) que posibilitan en combinación con medios de verificación la solución de los problemas que al realizar la verificación pudieran presentarse.

La **medición** y la **verificación** son operaciones necesarias: 1.° antes de la mecanización para el control de la pieza en bruto; 2.° para ajustar la pieza en la máquina-herramienta; 3.° durante el mecanizado para mantener las medidas prescritas; 4.° después del mecanizado para realizar el control final.

Errores de medición: Una magnitud no puede ser medida con exactitud absoluta. Incluso un valor correctamente leído discrepa en cierta magnitud de la verdadera magnitud a medir. Esas cantidades se llaman errores de medición. Las causas de estos errores de medición pueden ser:

Defectos de los aparatos: Los aparatos de medición no son absolutamente exactos sino que adolecen de errores.

Fuerza de medición: Esta fuerza hace que las superficies de medición se adapten. Esa fuerza puede ser demasiado grande o demasiado pequeña.

Influencia de la temperatura: Con la temperatura varía la longitud de un cuerpo. La temperatura de referencia es de 20°C. El objeto a verificar y el medio empleado para ello tienen que tener a 20°C las medidas prescritas.

Otros defectos: Manejo incorrecto del instrumento de medición, mala iluminación, etc.

Observación: *¡La lectura del valor de medición no es medir!*

La **elección del medio de verificación** se rige sobre todo por la tolerancia de la magnitud a medir. Cuando basta un pie de rey, resulta antieconómico el empleo de un pálmer que es un instrumento muy caro.



Torneado de piezas cilíndricas cortas

Sujeción de las piezas. Al tornear, el movimiento de corte se transmite de la máquina a la pieza mediante un aparato de sujeción (por ejemplo, un plato de sujeción).

El funcionamiento de la mayoría de los aparatos de sujeción se basa en el rozamiento que se produce en virtud de la fuerza de aprieto entre las superficies de sujeción. El rozamiento evita que el esfuerzo de corte desplace de su sitio a la pieza (fig. 1.95).

Para sujetar piezas cortas, lo más frecuente es el empleo de platos centradores con dos, tres o cuatro garras. El más corriente es el plato de tres, porque con él se pueden sujetar también piezas no redondas dándoles una posición centrada. Las mordazas de sujeción pueden ser movidas de distintos modos, es decir, con fileteado plano o con cremalleras cuneiformes (figs. 1.96 y 1.97).

El plato debe girar a la misma velocidad que el husillo principal. Para ser usado se atornilla a la rosca de la cabeza de este husillo principal. Para esto hay que tener en cuenta:

1.° Las roscas y superficies de contacto deben estar exentas de suciedad pues, en caso contrario, el plato no girará concéntricamente.
2.° Mientras se atornilla el plato no debe ser embragado el torno, por el peligro de accidente que ello entraña.

Las piezas deben ser introducidas todo lo profundamente que se pueda en el plato con objeto de que queden bien fijas. Cuando no se quiere que una pieza resulte dañada al sujetarla, se protege por medio de un casquillo hendido.

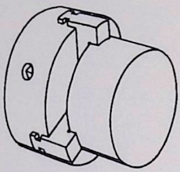


Figura 1.93 Sujeción entre mordazas escalonadas exteriores.

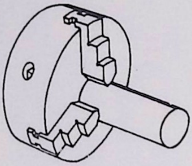


Figura 1.94 Sujeción entre mordazas escalonadas interiores.

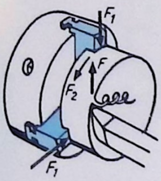


Figura 1.95 Esfuerzos de corte y de sujeción. F = esfuerzo de corte (esfuerzo de reacción); F_1 = esfuerzo de sujeción; F_2 = esfuerzo de arrastre.

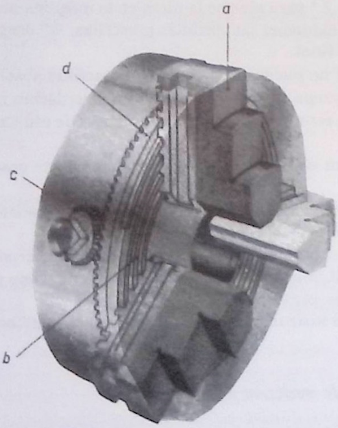


Figura 1.96 Plato de tres mordazas con rosca plana. Una rosca plana *b* es accionada por medio de un piñón cónico a través de una corona dentada *d* moviendo hacia afuera o hacia adentro las mordazas *a* que van convenientemente guiadas.

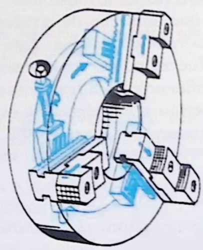


Figura 1.97 Plato de cremalleras cuneiformes (plato de Fockardt). Tres cremalleras con dientes cuneiformes engranan en los dientes de las mordazas. Un anillo de accionamiento enlaza las cremalleras y asegura una marcha igual de las tres.

Normas a seguir en el trabajo de cilindrado y de refrentado

1. Sujétese bien y de modo seguro la pieza a trabajar.
2. Cuando se mecanicen piezas que puedan flexarse, trabájese con ángulos de ajuste grandes (fig. 1.98).

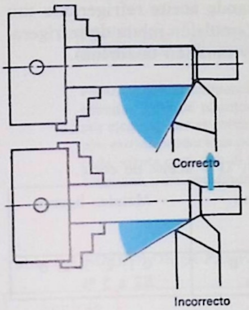


Figura 1.98 Un ángulo de ajuste grande reduce la flexión.

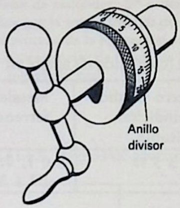


Figura 1.99 Mediante giro de una división en el anillo divisor, el útil de torno avanza generalmente 0,05 mm. Cuando por equivocación se ha girado demasiado, gírese la manivela al revés (marcha muerta) y vuélvase a ajustar.

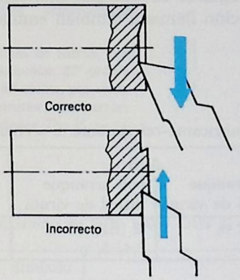


Figura 1.100 Al trabajar con el útil de refrentar la viruta tiene que ser separada con el corte principal.

3. Determinar correctamente el número de revoluciones y el avance.
4. Tornear primero una pequeña porción de la pieza y comprobar el diámetro con la máquina *desembragada*.
5. Para establecer el tamaño de la viruta utilícese el anillo divisor de los carritos transversal o de refrentar y superior o portaútil.
6. Antes de desembragar o parar la máquina, separar el útil de la pieza, pues en caso contrario puede quebrarse la cuchilla.
7. Al final de la carrera desconectar a tiempo el avance.
8. Para afinar hay que emplear un útil de punta bien afilado. Elegir como exceso o margen para el afinado unos 0,5 mm. En lo posible, hay que prescindir del retoque e igualación de la pieza con la lima, porque con ello puede perderse su forma cilíndrica.
9. Al refrentar colocar el útil exactamente en el centro y moverlo de dentro a fuera (fig. 1.100).

Lubricación refrigerante

Con el arranque de viruta se produce calor en el lugar de corte en virtud del rozamiento, siendo tanto mayor el desarrollo de calor cuanto mayor sea la velocidad de corte. El calentamiento intenso reduce la duración del útil. Como medios refrigerantes y lubricantes se emplean generalmente líquidos. Mediante chorro o pulverización del líquido sobre la zona de arranque de viruta disminuye la fricción y con ello el calor. La lubricación refrigerante o es completa o se prescinde de ella.

Materiales para lubrificación refrigerante. El agua, por ejemplo, ejerce una buena acción refrigeradora pero en cambio es inapropiada para lubricar y da origen a forma-

ción de óxido. Los materiales que contienen grasas tienen una buena acción lubricante y, en cambio, reducido efecto refrigerante. Para conseguir una satisfactoria acción refrigerante y tener al mismo tiempo acción lubricante es necesario a veces establecer una combinación entre ambos líquidos según que deba predominar la acción refrigerante o la lubricante.

Los principales medios lubricantes-refrigerante son: aceites de corte, no miscibles en agua y aceite refrigerantes, miscibles en agua. Mezclando aceite refrigerante con agua se obtiene una emulsión de coloración blanquecina (emulsión mixta de refrigeración llamada también emulsión de aceite para taladrar y también taladrina).

Tabla 1.4 Selección del medio lubricante-refrigerante. E = emulsión (contenido de aceite en %); O = aceite de corte.

Procedimiento	Acero		Hierro fundido y fundición maleable	Metales no férreos	Metales ligeros
	con arranque normal de viruta	con arranque difícil de viruta			
Torneado	E2 a 5 %	E (EP) 10 % 0,4; 5; c	E2 a 5 %	0 1; 2; 3; b E2 a 5 %	0 1; 2; 3; a; b E2 a 5 %

EP = emulsión con condiciones de alta presión (presión extrema). Viscosidades: a = 3 a 10 cSt/20°C, b = 12 a 45 cSt/20°C; c = 12 a 30 cST/50°C (cSt significa centistokes o sea la unidad para la relación viscosidad-densidad).
Gr. 1 Aceites de corte con adición de materias grasas
Gr. 2 Aceites de corte con adiciones EP de acción suave
Gr. 3 Aceites de corte con adiciones de materias grasas y otros de acción suave
Gr. 4 Aceites de corte con adiciones activas de EP
Gr. 5 Aceites de corte con adiciones de grasas y de Ep activas. Ejemplo: O 1, es decir aceite de corte con adición de materias grasas.

Observación: No refrigerar nunca con agua las aleaciones de magnesio (¡peligro de explosión!)

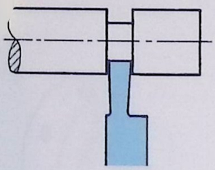


Figura 1.101 Ranurado.

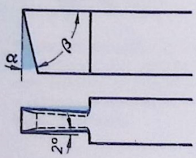


Figura 1.102 Útil de ranurar.

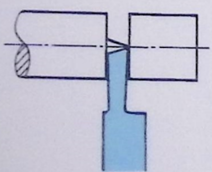


Figura 1.103 Tronzado.

Ranurar y tronzar al torno

Ranurar. Con esta operación (fig. 1.101) se trata de hacer ranuras en las piezas mediante torneado. Para esto, se emplean útiles llamados de ranurar o de hacer gargantas (fig. 1.102). La cuchilla en cuestión tiene diferente anchura según el trabajo que se haya de realizar.

El ángulo de ataque es de 0° para materiales frágiles y de 12° para materiales blandos. La magnitud del ángulo de incidencia varía entre los 3° y los 8°.

Tronzado. Las piezas se cortan mediante tronzado (fig. 1.103).

Con objeto de evitar la pérdida innecesaria de material, la cuchilla se hace estrecha. Al ranurar y al tronzar se produce una fuerte fricción. Para evitar ésta el medio empleado para refrigerar y lubricar tiene que poseer un fuerte poder lubricante.

Superficies técnicas

Las piezas terminadas tienen que obtener una determinada naturaleza superficial.

La *superficie exterior ideal geométrica* es la que delimita de modo perfecto la forma del cuerpo deseado.

Superficie exterior teórica es la superficie prescrita. En los planos se indica mediante símbolos de superficie (tabla 1.5)

Superficie real es la superficie obtenida en la fabricación y dentro de las mediciones técnicas.

Discrepancia de figura es el conjunto de todas las discrepancias entre la superficie real y la superficie exterior geométricamente ideal.

Profundidad de rugosidad R_t (µm) es la distancia entrre el perfil de fondo y el de referencia (medible con aparatos).

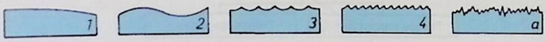


Figura 1.104 Discrepancias de forma: 1.er orden: discrepancias de forma, por ejemplo, falta de planitud, falta de redondez; 2.° orden: ondulación; 3.er orden, por ejemplo estrías producidas por la forma del filo del útil; 4.° orden, por ejemplo, estrías producidas por el proceso de la formación de las virutas (viruta arrancada, viruta cortada); *a*) las discrepancias de forma de los órdenes 1° a 4° se sobreponen para constituir la superficie real.

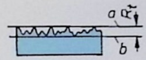


Figura 1.105 Profundidad de rugosidad R_t (representada con exageración); *a*) perfil de referencia, *b*) perfil de fondo.

Tabla 1.5 SÍMBOLOS SUPERFICIALES (signos de acabado) (Extracto de DIN 140 y DIN 3141)

Símbolo superficial	Significado	Rugosidad	Símbolo superficial	Significado	Rugosidad
Sin signo	Superficies brutas, como las que se obtienen por trabajo sin arranque de viruta (laminado, forja, colada, etc.).		Dos triángulos	Superficies tales como las que resultan en trabajos de *afinado* con arranque de viruta. Los surcos son todavía visibles a simple vista.	40 hasta 10
Signo de aproximado	Superficies brutas, como las obtenidas en una fabricación cuidadosa sin arranque de viruta (por ejemplo en fundición cuidadosa).		Tres triángulos	Superficies tales como las que resultan en un *afinado fino* con arranque de viruta. Las marcas no se ven ya a simple vista.	16 hasta 2,5
Un triángulo	Superficies tales como las que resultan en trabajos de *desbastado* con arranque de viruta. Las marcas se notan al tacto y se ven a simple vista.	160 hasta 25	Cuatro triángulos	No está normalizado en DIN 140	1 hasta 0,4

Tiempo disponible para un encargo según REFA (Asociación para estudios de trabajos.)

Para la ejecución de un encargo de trabajo, por ejemplo, para tornear un perno, se necesita un cierto tiempo.

Tiempos reales son los tiempos realmente empleados en el proceso de trabajo.

Tiempos teóricos son los tiempos fijados para los procesos de trabajo planeados.

Tiempos supuestos son los tiempos teóricos según **REFA** para la ejecución de los procesos de trabajo.

Tiempo disponible T para un encargo es el tiempo prefijado para la ejecución de un encargo.

Tiempo de ocupación T_{bB} es el tiempo prefijado de empleo de un medio de producción, por ejemplo, de un torno.

El tiempo disponible para un encargo se compone del tiempo para la preparación más el tiempo para la ejecución.

Tiempo para preparación t_r es el tiempo supuesto para preparar, por ejemplo, las máquinas y herramientas necesarias para la ejecución del trabajo y el tiempo invertido en volverlas a su estado primitivo. Este tiempo es independiente del número de piezas a realizar y no interviene nada más que una vez en cada encargo.

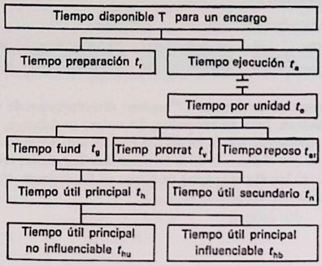


Figura 1.106 Estructuración del tiempo disponible para un encargo
$t_g = t_{hu} + t_n$; $t_e = t_g + t_v + t_{er}$
$t_a = t_e \cdot m$; $T = t_e + t_a$

Tiempo de ejecución t_a es el tiempo supuesto para la cantidad. Se calcula del siguiente modo: t_a = tiempo por pieza × número (m) de piezas.

El **tiempo por pieza** t_e (o tiempo por unidad) se compone de la suma del tiempo fundamental, el tiempo a prorratear y el tiempo de reposo.

El **tiempo fundamental** t_g es el tiempo para la ejecución de un trabajo encargado.

El **tiempo a prorratear** t_v interviene de modo irregular, por ejemplo, perturbaciones en la máquina, interrupción para necesidades fisiológicas.

El **tiempo de reposo** t_{er} es el tiempo necesario para recuperarse el operario.

Tiempo útil principal t_h. Durante este tiempo va la máquina arrancando virutas. En este tiempo hay que distinguir entre el tiempo principal no influenciable t_{hu} como en el caso de avance automático y el tiempo que puede ser influenciable como por ejemplo cuando se trata de avance manual.

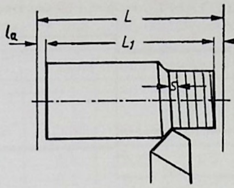
El **tiempo útil secundario** t_n es el empleado en preparar el tiempo útil principal; por ejemplo el invertido en sujetar y aflojar la pieza; el tiempo útil secundario puede ser no influenciable (sujeción automática) o influenciable (sujeción a mano, medición).

Cálculo del tiempo útil principal

Los tiempos para el proceso automático (tiempo útil principal t_{hu}) pueden ser calculados.

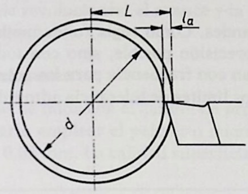
Designaciones: L = longitud a tornear (recorrido del avance), l_a = recorrido anterior, l_u = recorrido ulterior, l = longitud de la pieza, s = avance en mm/rev, n = número de revoluciones; avance/min = $s \cdot n$.

$$\text{Tiempo útil principal} = \frac{\text{longitud a tornear}}{\text{avance/min}} \qquad t_{hu} = \frac{L}{s \cdot n}$$



Torneado cilíndrico: $L = l + (l_u + l_a)$
Ejemplo: $d = 90$ mm, $l = 490$ mm, $l_a = l_u = 5$ mm, $L = 500$ mm, $v = 80$ m/min, $s = 0{,}5$ mm/rev., $n = 250$/min (véanse págs. 36 y 37). Se trata de calcular t_{hu}.

$$t_{hu} = \frac{L}{s \cdot n} = \frac{500 \text{ mm}}{0{,}5 \text{ mm} \cdot 250/\text{min}} = 4 \text{ min}$$



Refrentado $L = d/2 + l_a$
Ejemplo: $d = 190$ mm, $l_a = 5$ mm, $L = 100$ mm, $v = 80$ m/min, $s = 0{,}5$ mm/rev, $n = 125$/min (véanse págs. 36 y 37). Se trata de calcular t_{hu}

$$t_{hu} = \frac{L}{s \cdot n} = \frac{100 \text{ mm}}{0{,}5 \text{ mm} \cdot 125/\text{min}} = 1{,}6 \text{ min}$$

MECANIZADO DE PERNOS CON ESPIGA EN LOS EXTREMOS

Los pernos con espigas o gorrones en los extremos se emplean frecuentemente para fijar o asegurar una determinada distancia entre dos piezas o elementos de máquina, por ejemplo entre dos piezas de unión (fig. 1.107).

Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado: Tornear un perno (fig. 1.108) con dos espigas. La pieza en bruto está constituida por un redondo de acero estirado y se suministra en longitud bruta (la letra «K» colocada tras la designación del material significa: conformación en frío, estirado).

El acero redondo estirado (acero redondo brillante) tiene la superficie lisa y reluciente. Para un diámetro de 14 mm tiene según DIN 668 la discrepancia admisible de – 0,110 mm. Los diámetros y longitudes de las espigas se confeccionan según medidas de ajuste. Al tornear hay que tender, como ya se dijo en la página 41, a conseguir la medida media.

Se fijan tolerancias porque en la práctica no resulta posible obtener con toda exactitud una medida nominal que se nos pida, por ejemplo de 10 mm. Una tolerancia pequeña exige tener, al tornear, una profunda atención porque la pieza puede fácilmente resultar demasiado delgada después de torneada. Cuanto menor es la tolerancia, más tiempo se precisa para lograrla. Se procura por esta razón, siempre que sea posible,

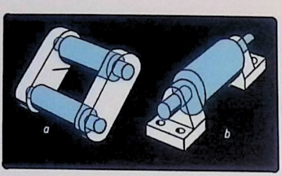


Figura 1.107 Ejemplos de aplicación de pernos con espigas.

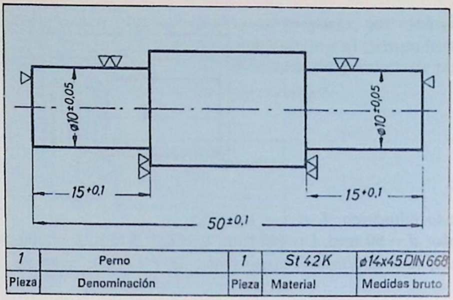


Figura 1.108 Plano de taller.

trabajar con tolerancias grandes. Como regla fundamental podemos decir que no se debe trabajar con toda la precisión posible, sino con toda la precisión necesaria.

En los talleres se emplean con frecuencia para las cotas libres, o sea que no llevan indicación de tolerancia, unos límites de tolerancia admitidos con carácter general para esos casos (tabla. 1.6).

Plan de trabajo

Fases del trabajo	Herramientas
1 Sujeción	Pinza cónica
2 Desbastar y afinar la 1.ª espiga	Útil curvo, útil de afinar
3 Terminar de tornear la 1.ª espiga a su longitud y desbarbar	Cuchilla de corte lateral, útil de mano
4 Invertir la sujeción	
5 Desbastar la 2.ª espiga, afinar, terminar de tornear a su longitud y desbarbar	Útil curvo, de afinar, de corte lateral y de mano.
Instrumentos de medida; calibre de profundidades, pie de rey, micrómetro.	

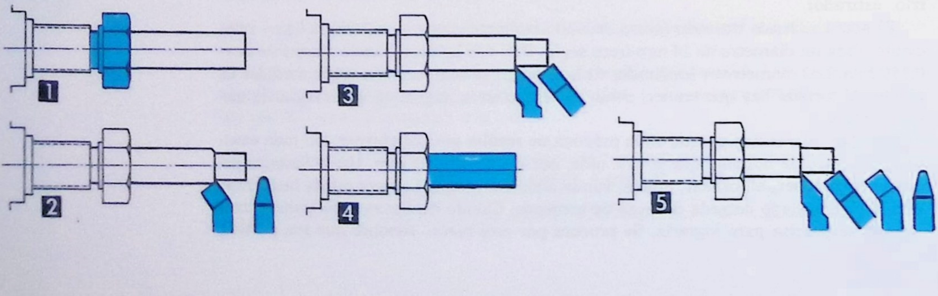
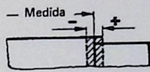


Tabla 1.6 Discrepancias para medidas de longitud (por ejemplo medidas de las espigas, medidas interiores, medidas de diámetros) sin indicación de tolerancia, según DIN 7168

Grado de exactitud	Zona nominal alcanzada (mm)					
	1 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 100	> 100 ... 300	> 300 ... 1000	> 1000 ... 2000
fino ±	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	0,5
medio ±	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2
basto ±	0,2	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0
muy basto ±	0,5	1	1,5	2	3	5



Mecanizado de pernos

Sujétese la pieza en bruto con ayuda de la boquilla o pinza de sujeción o aprieto (véase pág. 55). El número de revoluciones, el avance y la profundidad de corte se establecen del modo ya conocido.

Medición y verificación del perno

La longitud de las espigas se mide con el calibre de profundidades (fig. 1.109). Para medir el diámetro es necesario emplear el pálmer o micrómetro (fig. 1.110) porque la tolerancia viene dada por ± 0,05 mm. La calidad superficial se comprueba a la vista y al tacto (véase página 47).

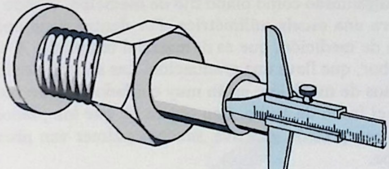


Figura 1.109 Medición con el calibre de profundidades.

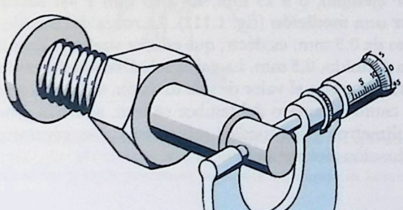


Figura 1.110 Medición con el pálmer o micrómetro.

Atención:
No deben medirse piezas mientras estén girando.

Medición y verificación con el pálmer o micrómetro

La exactitud que se alcanza con el pie de rey y que varía entre 1/10 ó 1/20 de mm no es suficiente en muchas ocasiones y para obtener mediciones más exactas se utiliza el pálmer, llamado también micrómetro, que garantiza una exactitud de 1/100 mm (fig. 1.111).

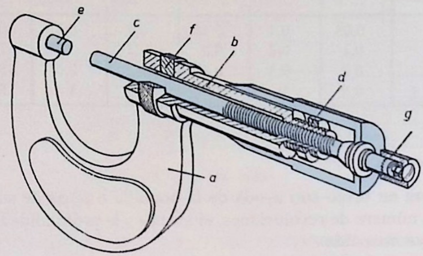


Figura 1.111 Composición del pálmer: *a*) horquilla; *b*) manguito interior roscado interiormente; *c*) husillo unido al tambor; *d*) anillo roscado para ajuste de la rosca interior; *e*) tope fijo: *f*) freno de anillo; *g*) tornillo.

Composición del pálmer. El manguito interior y la horquilla forman una sola pieza. A la horquilla va unido como plano fijo de medición, el tope fijo. El manguito interior lleva por fuera una escala milimétrica. Por dentro tiene una rosca que sirve de guía para el husillo de medición, que es de material templado. A este husillo va firmemente unido el tambor, que lleva una graduación. Las superficies frontales del tope fijo y del husillo, o planos de medición, están muy cuidadosamente rectificadas. Para fijar el husillo se utiliza el freno de anillo. Con objeto de que los planos de medición no se apliquen a la pieza con presión excesiva, muchos pálmer van provistos de un tornillo (sensitivo) de escape.

El alcance de indicación (recorrido de medición del husillo) es generalmente de 25 mm. Un alcance mayor queda impedido a causa del posible error de paso de la rosca del husillo. Los pálmeres se escalonan por esta razón en tamaños que van graduados de 25 en 25 mm; por ejemplo, 0 a 25 mm, 25 a 50 mm y así sucesivamente.

Modo de hacer una medición (fig. 1.112). La rosca del husillo de medida tiene generalmente un paso de 0,5 mm, es decir, que en *una* vuelta se desplaza el husillo de medida, y el tambor a él unido, 0,5 mm. La parte achaflanada del tambor va dividida en 50 partes. Cuando el tambor gira el valor de una división, el husillo se desplaza 0,5 mm: 50 = 0,01 mm. En el canto delantero del tambor se leen, sobre la graduación milimétrica del husillo, los milímetros y los medios milímetros. Las centésimas de milímetro se leen sobre la graduación del tambor.

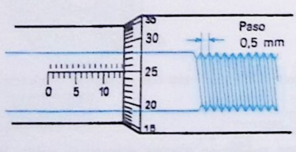


Figura 1.112 Ejemplo de lectura en un pálmer (paso del husillo: 0,5 mm). Lectura: 13,75 mm.



Hay también pálmeres cuyo husillo tiene un paso de 1 mm. En este caso, la escala del tambor va dividida en 100 partes.

Comprobación de los pálmeres. El desgaste del husillo o de los planos de medida dan como resultado mediciones erróneas. El husillo no debe tener recorrido muerto. Actuando sobre la tuerca de presión se puede eliminar el pequeño juego que pueda existir. Los defectos del husillo se ponen de manifiesto comparando diversas posiciones del husillo con calibres normales paralelos (véase pág. 77). Los planos de medida deben estar bien lisos y ser perpendiculares al eje del husillo. Cuando el pálmer está cerrado del todo, el punto cero de la división milimétrica debe coincidir con el de la división del tambor. Para la verificación exacta de la lisura y del paralelismo de los planos de medida se emplean calibres planos de cristal.

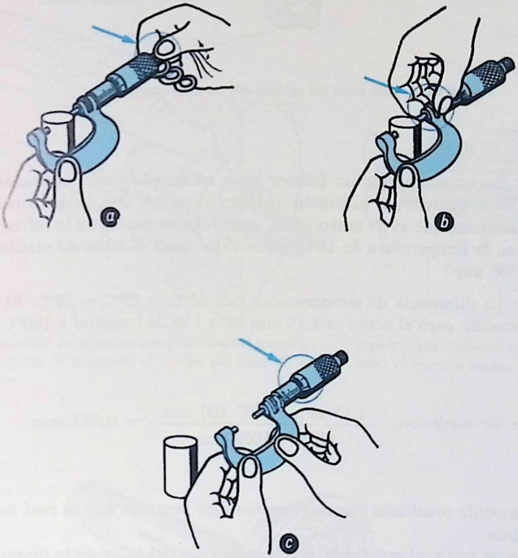


Figura 1.113 Uso del pálmer. *a*) Manténgase el plano de medida del tope fijo aplicado contra la pieza y ajústese el husillo contra la pieza, por medio del tornillo sensitivo. *b*) Fíjese el husillo accionando sobre el freno de anillo y separe el pálmer de la pieza deslizando sobre ella. *c*) Hágase la lectura con buena luz.

Uso del pálmer (figs. 1.113 y 1.114). Tanto la pieza a medir como los planos de medida del pálmer deben estar completamente limpios. Para medir una pieza se va haciendo girar el tambor hasta que los planos de medida toquen la pieza.

Reviste una importancia especial para la exactitud de la medida la presión con que se aplican los planos de medida contra la pieza a medir. Un buen pálmer debe estar construido de tal forma que con una presión de medida de 5 a 10 N dé mediciones co-

rrectas. Para conseguir esa presión, la fuerza ejercida por los dedos al girar el tambor tiene que ser de unos 0,6 N. Para que la fuerza de los dedos sea uniforme se necesita poseer un sentido del tacto bien definido. Apretando demasiado o demasiado poco se obtienen mediciones incorrectas. Con ayuda del tornillo sensitivo se consigue imprimir la presión conveniente. La pieza y el instrumento de medida han de tener la misma temperatura.

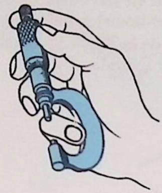


Figura 1.114 Utilización del pálmer con una sola mano.

Ejemplo: Supongamos que un pálmer haya alcanzado como consecuencia de la temperatura de la mano o por radiación (calefacción o sol) una temperatura de 35°C y que la pieza a medir, que es de acero, tiene, como consecuencia de la refrigeración con ayuda de agua, la temperatura de 15°C. ¿Qué valor tiene el error de medida para una longitud de 100 mm?

Solución: La diferencia de temperaturas vale 35°C − 15°C = 20°C. El coeficiente medio de dilatación para el acero es 1,15 mm para 1 m de longitud y 100°C de calentamiento.

$$\text{Error de medición:}\quad \frac{1{,}15\ \text{mm}\cdot 20^{\circ}\text{C}\cdot 100\ \text{mm}}{100^{\circ}\text{C}\cdot 1000\ \text{mm}} = 0{,}023\ \text{mm}$$

La pieza medida resultaría con una medida más pequeña que la real siendo ése el error de medida.

Con objeto de evitar el error debido a la influencia del calor de la mano, tienen los pálmeres, frecuentemente, un recubrimiento aislante.

Cuidados que deben tenerse con los pálmers. Los pálmers son instrumentos de precisión y por este motivo resultan delicados y caros.

1. Pónganse los pálmers sobre el banco de trabajo encima de alguna superficie blanda y ténganse separados de otros instrumentos.
2. No utilice el pálmer sino para aquellas medidas en que sea imprescindible la gran exactitud que proporciona tal instrumento.
3. No hay que realizar nunca esfuerzo alguno para medir sino que debe medirse con tacto.
   ¡El pálmer no es una prensa de husillo!
4. No atornille el husillo de medida danto vueltas a la horquilla.
5. Limpie el pálmer después de utilizarlo y engrase, con una capa muy fina de vaselina, las partes pulidas.

Sujeción de piezas cilíndricas cortas en la boquilla de sujeción

Las piezas cilíndricas de pequeño diámetro pueden sujetarse en el torno rápidamente y de modo bien fijo con la boquilla de sujeción.

Una boquilla de sujeción provista de tres ranuras se introduce con una tuerca en el hueco cónico del cuerpo del mandril. Con esto se comprime, se aprieta la boquilla y la pieza queda fuertemente sujeta por ella (fig. 1.115).

Para cada diámetro de pieza se necesita una boquilla de sujeción con diámetro conveniente. En otra disposición de sujeción de distinto tipo (fig. 1.116) se utiliza un tubo de sujeción provisto de volante o rueda de mano.

Para sujetar grandes piezas de revolución pueden utilizarse platos de sujeción con escalonamiento exterior o interior (figuras 1.117 y 1.118).

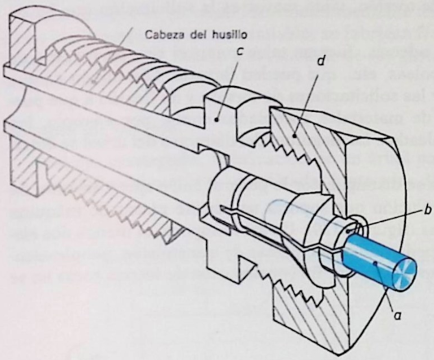


Figura 1.115 Boquilla de sujeción con el cuerpo del mandril: *a*) pieza; *b*) boquilla de sujeción; *c*) cuerpo del mandril; *d*) tuerca de apriete.

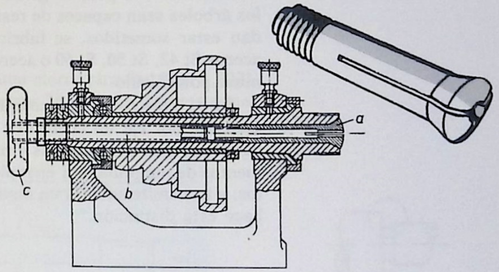


Figura 1.116 Tubo de sujeción: *a*) boquilla de sujeción; *b*) tubo de sujeción; *c*) rueda a mano.

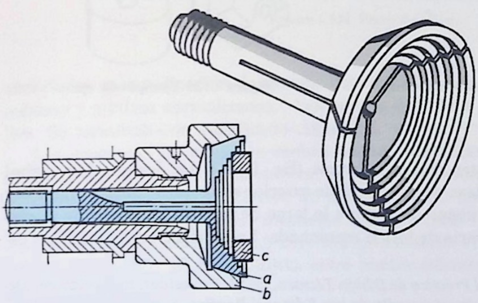


Figura 1.117 Sujeción con plato escalonado interiormente: *a*) plato escalonado interiormente; *b*) plato de base; *c*) pieza.

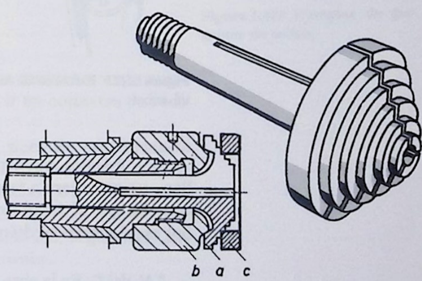


Figura 1.118 Sujeción con plato escalonado exteriormente: *a*) plato escalonado exteriormente; *b*) plato de base; *c*) pieza.

MECANIZADO DE ÁRBOLES

Los árboles se emplean para transmitir movimientos de rotación y esfuerzos de torsión. Estos esfuerzos tienden a retorcer el árbol (figura 1.119). En este efecto no solamente entra en juego la magnitud del esfuerzo de torsión sino que también tiene gran importancia la distancia del punto de aplicación de la fuerza al eje del árbol, es decir, el brazo de palanca con que actúa la fuerza. El producto de la fuerza por la distancia del punto de aplicación al eje del árbol se designa con el nombre de momento de torsión.

Ejemplo I: $F = 5000$ N; $r_1 = 0{,}1$ m. Momento de torsión: $M = 5000 \text{ N} \cdot 0{,}1 \text{ m} = 500$ Nm

Ejemplo II: $F = 5000$ N; $r_2 = 0{,}2$ m. Momento de torsión $M = 5000 \text{ N} \cdot 0{,}2 \text{ m} = 1000$ Nm

Cuanto mayor es el momento de torsión, tanto mayor es la solicitación que ha de aguantar el árbol.

Sobre el árbol pueden actuar, además, fuerzas tales como el tiro de correas de transmisión o el peso de grandes poleas, etc., que pueden flexarlo. Con objeto de que los árboles sean capaces de resistir las solicitaciones de torsión y de flexión a que puedan estar sometidos, se fabrican de materiales apropiados como, por ejemplo, los aceros St 42, St 50, St 60 o aceros aleados. La magnitud del diámetro del árbol se determina por cálculo.

En la construcción de máquinas se distingue por lo general entre ejes y árboles. Se entiende por eje un cuerpo de revolución que soporta solamente piezas de máquina como por ejemplo palancas y ruedas (figura 1.120). Un árbol soporta al menos dos elementos de máquina, por ejemplo, ruedas dentadas, poleas de transmisión, acoplamientos, y transmite además un momento de torsión. En construcción de locomotoras no se hace esta distinción.*

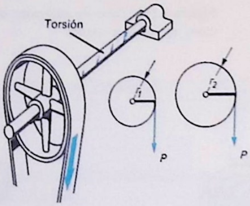


Figura 1.119 Esfuerzo de torsión que actúa sobre un árbol.

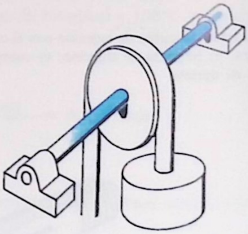


Figura 1.120 Ejemplo de eje.

Los árboles pueden adoptar diversas formas (fig. 1.121). La designación «árbol liso» no se refiere a la naturaleza de su superficie exterior sino que se quiere significar con ella que el árbol tiene el mismo diámetro a lo largo de toda su longitud. En el «árbol escalonado» el diámetro varía de forma escalonada. La fabricación de un árbol es-

* *N. del T.:* En la obra *Manual Práctico de Dibujo Técnico*, de W. Schneider, traducida del alemán (Tecnisches Zeichnen für de Praxis) y editada por Editorial Reverté, S. A., se establece la siguiente distinción (pág. 260): «Los árboles son, contrariamente a los ejes, que siempre están fijos, soportes giratorios de órganos de las máquinas motrices. Sirven para transmitir movimiento giratorio en su dirección axil.

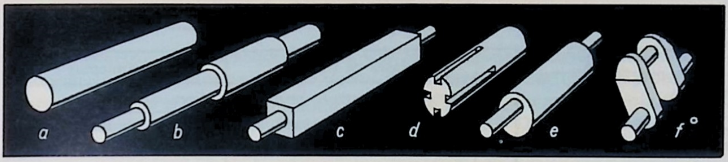


Figura 1.121 Ejemplos de diversas formas de árboles. *a)* árbol liso; *b)* árbol escalonado; *c)* árbol de sección cuadrada; *d)* árbol ranurado; *e)* árbol excéntrico; *f)* árbol cigüeñal.

calonado es más cara que la de uno liso y resulta por consiguiente más ventajoso el empleo de árboles lisos. En las normas no se prevén nada más que árboles de determinados diámetros.

Casi siempre se fabrican los árboles mediante torneado. Los árboles largos y lisos, como por ejemplo los de transmisión, se fabrican frecuentemente por estirado. Los árboles estirados son, debido a lo reducido de sus gastos de fabricación, más baratos que los torneados.

Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado. Fabricación de un árbol para una sierra circular (fig. 1.122)

Las designaciones j6 y h6 indicadas junto a los diámetros 26 y 32 son designaciones

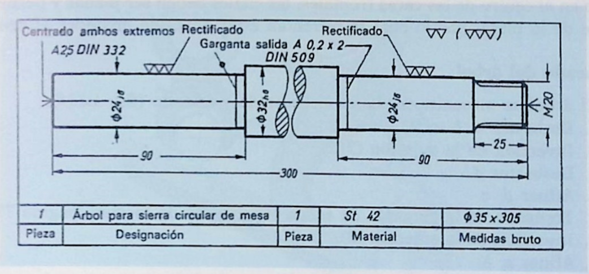


Figura 1.122 Plano de taller.

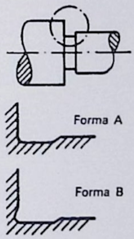


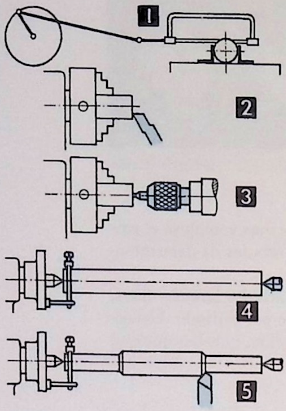
Figura 1.123 Ejemplos de gargantas de salida.

abreviadas para indicación de ajustes. Esto significa que hay que mantener unas cotas máxima y mínima normalizadas.* Las espigas de ∅ 24 j6 deben ir en cojinetes de rodillos. Se terminan con rectificado cilíndrico.

Las gargantas de salida en ambos talones son necesarias, pues de esa forma la muela puede efectuar toda la carrera. Las gargantas están normalizadas. A 0,2 × 2 significa garganta forma A, 0,2 mm de profundidad, 2 mm de ancho (DIN 509).

La designación «centrado» dispuesta sobre las caras frontales significa que los centrados deben mantenerse. A 2,5 DIN 332 quiere decir: Forma A, ∅ 2,5, según DIN 332 (véase página 61). El eje se sujeta entre puntos mientras se tornea.

* *N. del T.:* La normalización a que corresponden esas designaciones pertenece al *Sistema de ajustes ISA* de la Internacional Federation of the National Standardizing Asociations (Federación Internacional de las Asociaciones Nacionales de Normalización).



Plan de trabajo

	Fases de trabajo	Herramientas
1	Corte de la barra en bruto	Sierra
2	Refrentado de las caras frontales	Útil de corte lateral
3	Centrado	Broca de centrar, A 2,5
4	Sujeción entre puntas	Puntos del torno. Perro de torno
5	Torneado del árbol (véase figura 1.124)	Útiles de desbastar, de afinar, de corte lateral y de perfil.
Instrumentos de medida: Metro de acero, compás curvo, pie de rey, pálmer, calibres de tolerancia para árboles, calibre de redondeamientos, calibre hembra para roscas.		

Preparación para tornear el árbol

La pieza en bruto se corta de la barra unos 5 mm más larga que la medida nominal. Para ello puede utilizarse la sierra mecánica. Los taladros de centrado deben practicarse en el centro de las caras frontales, las cuales deben ser planas y perpendiculares al eje de la pieza, por lo cual se refrentan éstas antes de proceder al centrado.

Torneado del árbol

El árbol se mecaniza mediante desbastado y afinado (fig. 1.124).

1. Desbastar *a, b, c* (1).
2. Inversión de la sujeción (2).
3. Desbastar *d.*
4. Afinar *d, c.*
5. Torneado de la garganta de salida *f* (torneado de formas, página 79).
6. Inversión de la sujeción (3).
7. Afinar *a, b.*
8. Torneado de la garganta de salida *f*, torneado de las espigas a su longitud debida.

Como las espigas de ∅ 24 j6 han de rectificarse, hay que mantener los diámetros más gruesos en la demasía necesaria para el rectificado; en este caso se dejarán a 24,3 mm. Para el tallado de la rosca, véase la página 232.

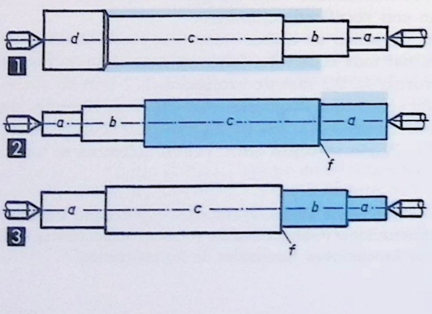


Figura 1.124 Torneado del árbol.

Medición y verificación del árbol.

Los diámetros sin indicación de ajuste y las longitudes se miden del modo ya conocido utilizando los instrumentos apropiados. Frecuentemente hay que comprobar durante el trabajo si el torno gira y tornea concéntricamente. Para esto se presta el compás de exteriores (figura 1.125). Para comprobar la medida Ø 32 h6 se emplea el calibre de tolerancia o calibre de herradura (fig. 1.126).

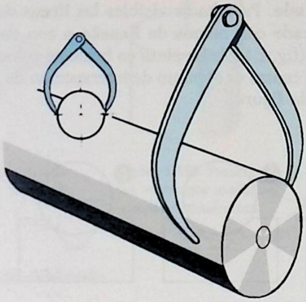


Figura 1.125 Verificación con el compás.

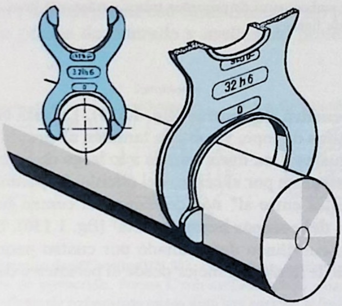


Figura 1.126 Verificación con el calibre de herradura o de exteriores.

Al fabricar un árbol pueden producirse diversos defectos en cuanto a forma de la sección y a su condición de cilindro (fig. 1.127). Estas formas pueden comprobarse también por medio del comparador (véase pág. 67).

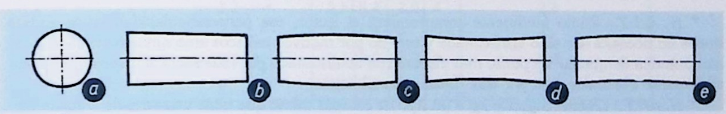


Figura 1.127 Árboles defectuosos. Sección transversal defectuosa: *a*) Sección no circular. Forma cilíndrica defectuosa: *b*) conicidad; *c*) abombamiento; *d*) concavidad; *c*) forma curvada.

Torneado entre puntos

Para poder sujetar una pieza entre los puntos del torno han de estar provistas las caras frontales de los correspondientes puntos de centrado. No queda garantizado un buen funcionamiento concéntrico sino cuando los puntos de centrado están situados en el centro de las caras frontales. El centrado consiste en: *a*) la determinación del centro de las caras frontales, por ejemplo mediante trazado, y *b*) el taladrado de los puntos de centrado.

Trazado para el centrado. Para hacer visibles las líneas del trazado se pintan las zonas a que afecta el trazado con blanco de España o con tiza.

Trazado con el gramil (fig. 1.128). La pieza en bruto se coloca en el prisma o «uve» sobre la placa de trazar. El centro es el punto de intersección de las dos líneas trazadas como se indica en la citada figura.

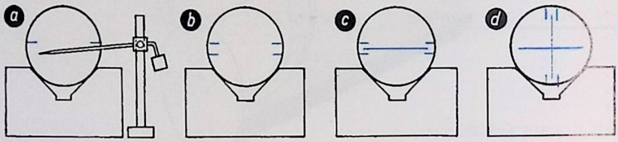


Figura 1.128 Trazado del centro de piezas redondas con el gramil: *a*) colóquese la punta de trazar aproximadamente a la altura del centro y márquense dos líneas cortas; *b*) gírese 180° la pieza en el prisma, o «uve» de trazar, y márquense, lo mismo que antes, otras dos pequeñas rectas; *c*) colóquese la punta en el eje de las dos paralelas determinadas por ambos pares de pequeños trazos y trácese la línea; *d*) gírese 90° la pieza y procédase igual para la segunda línea.

Trazado con la escuadra de centrar (fig. 1.129). La pata central divide al ángulo formado por los dos lados de tope, y con ello también al círculo en que se apoyan esos lados, en dos partes iguales. Una línea trazada a lo largo de la arista correspondiente a la pata central pasará siempre por el centro del círculo. El punto de intersección de dos líneas análogas, normales entre sí* nos determina el centro buscado.

Trazado por medio del compás hermafrodita† (fig. 1.130). Se halla el centro como centro del cuadrilátero curvilíneo determinado por cuatro pequeños arcos de círculo trazados desde el borde de la pieza o mejor desde el perímetro de la cara frontal correspondiente.

El centro así hallado se marca con un granete.

Marcado de centro con granete y campana-guía (fig. 1.131). Por este sistema se elimina el trazado. El centro se marca dando un martillazo sobre el granete guiado por medio de la campana-guía. La campana-guía no debe mantenerse inclinada pues en este caso el granetazo resultaría descentrado. Este procedimiento apenas se usa ya y si lo citamos aquí es sólo para completar el tema.

* *N. del T.:* Como fácilmente comprenderá el lector, esa perpendicularidad entre ambas líneas no necesita ser sino aproximada y esto no por motivos teóricos sino únicamente por la razón práctica de quedar un punto más claramente determinado por intersección de dos líneas sensiblemente normales que por dos líneas muy oblicuas.

† *N. del T.:* Llaman algunos así a un tipo de compás mixto que tiene una pata de compás normal y una pata de compás de puntas y cuyo objeto es comprobar, centrar y trazar distancias desde el borde de la pieza; otros autores lo llaman sencillamente «compás mixto».

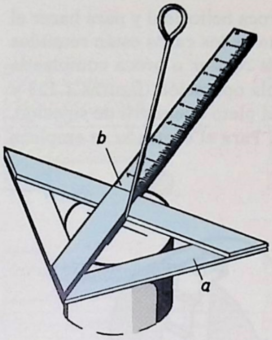


Figura 1.129 Trazado del centro con la escuadra de centrar: *a*) lados de tope; *b*) pata central.

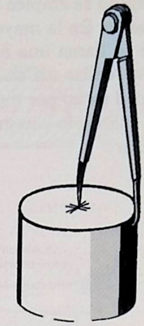


Figura 1.130 Trazado del centro por medio del compás hermafrodita.

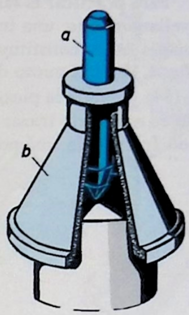


Figura 1.131 Marcado con granete y campana de centrar: *a*) granete móvil; *b*) campana-guía.

Ejecución de puntos de centrado

Después de haber sido marcado con granete el centro de las caras frontales hay que proceder a taladrar los puntos de centrado. Un punto de centrado consta de taladro de centrado y del avellanamiento correspondiente. Las cotas de los puntos de centrado están normalizadas (tabla 1.7). Las piezas con caras frontales no planas y muchas herramientas se marcan con puntos de centrado y avellanado protector.

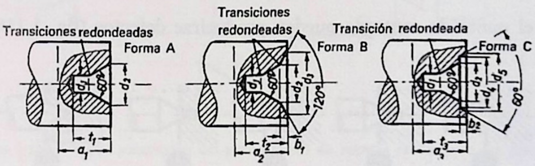


Figura 1.132 Taladros de centrado de 60° según DIN 332. Forma A sin avellanamiento de protección. Forma B con avellanamiento cónico de protección. Forma C con avellanamiento troncocónico de protección. Las formas A, B y C tienen superficies de rodamiento rectas pero hay además la forma R en que esas superficies son abombadas. Las piezas pesadas pueden tener ángulos de avellanamiento de 90° (no normalizadas).

Tabla 1.7 Medidas para los taladros de centrado 60°, formas A y B, DIN 332 (extracto)

Forma A				Forma B				
d_1	a_1	d_2	t_1 (medida mínima)	a_2	b	d_2	d_3	t_2 (medida mínima)
1	3	2,5	2,2	3,5	0,4	2,5	4	2,6
1,6	5	4	3,5	5,5	0,5	4	5,6	4
2,5	7	6,3	5,5	8,3	0,8	6,3	9	6,3
4	11	10	9	12,7	1,2	10	14	10,2

Designación para un centrado forma A de $d_1 = 4$ mm; centrado A4 DIN 332. a = medida de corte cuando no debe conservarse el centrado.

Para practicar el taladro de centrado se emplea una broca helicoidal y para hacer el avellanamiento, una fresa de avellanar. En la mayor parte de los casos están reunidos ambos útiles constituyendo lo que se llama una *broca de centrar* o broca combinada (fig. 1.134). El punto de centrado se realiza así en *una* sola operación (figuras 1.133 y 1.134). Cuando la pieza se sujeta en el torno por medio del plato o mandril de sujeción, no es necesario trazar el centro ni marcarlo con granete. Para el centrado se emplean con frecuencia, máquinas de centrar.

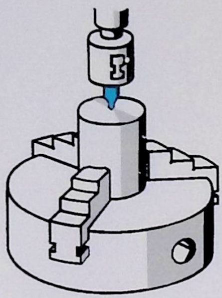


Figura 1.133 Taladrado del punto de centrado en la taladradora.

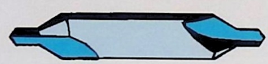


Figura 1.134 Broca de centrar normalizada. Designación de una broca de centrar. Forma A de corte a la derecha, diámetro $d_1 = 4$ mm de acero rápido: Broca de centrar A 4 DIN 333 de acero rápido.

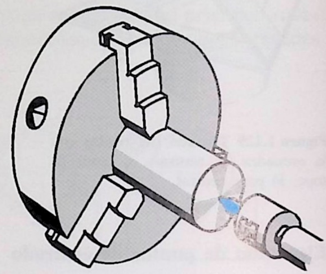


Figura 1.135 Taladrado del punto de centrado en el torno.

Al taladrar el punto de centrado pueden producirse defectos (fig. 1.136).

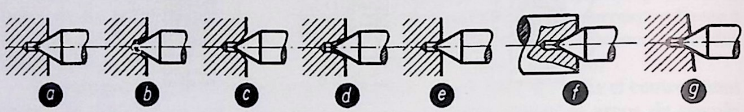


Figura 1.136 Defectos en la operación de realizar el centrado: *a*) centrado correcto; *b*) parte cilíndrica demasiado corta; *c*) ángulo de centrado demasiado grande; *d*) ángulo de centrado demasiado pequeño; *e*) superficie de apoyo demasiado grande; *f*) superficie de apoyo demasiado grande; *g*) superficie de apoyo irregular (a causa de oblicuidad de la cara frontal).

Sujeción entre puntos

Los puntos tienen dimensiones normalizadas y tienen que ajustar con su vástago cónico en los alojamientos cónicos del husillo principal y del cabezal móvil (figs. 1.137 a 1.139).

Cuando se tornean piezas cilíndricas, el punto del cabezal móvil debe estar en línea con el punto rotativo (figs. 1.140 a 1.142).

Platos de arrastre

El movimiento de rotación del husillo principal se transmite a la pieza por medio de platos de arrastre y de topes o perros de arrastre (fig. 1.143). Antes de proceder a sujetar la pieza hay que llenar el punto de centrado correspondiente al cabezal móvil con al-



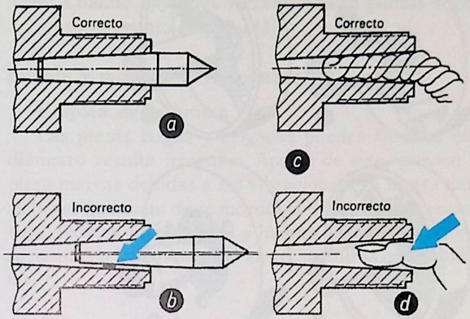


Figura 1.137 Inserción del punto giratorio: *a*), *b*) Antes de la inserción límpiense el cono exterior y el interior. Las suciedades pueden hacer que la punta no esté en el eje. *c*), *d*) No debe limpiarse con el dedo el cono interior. ¡Hay con ello peligro de accidente! La limpieza debe hacerse a máquina parada y con un trapo de limpieza.

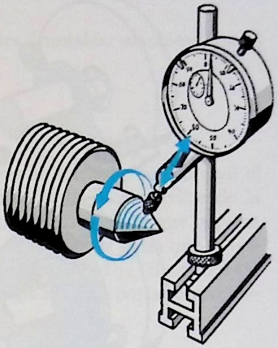


Figura 1.138 Comprobación de la rotación centrada del punto móvil por medio de un comparador.

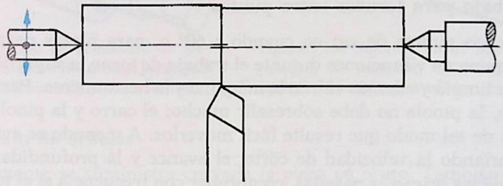


Figura 1.139 Un giro excéntrico del punto móvil da lugar a resaltos en las piezas.

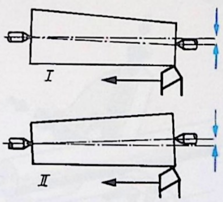


Figura 1.140 La pieza que se tornea resulta cónica cuando el contrapunto (punto del cabezal móvil) está desplazado con respecto al husillo principal. Según sea el sentido de ese desplazamiento así resultará el diámetro de la pieza más delgado por la parte anterior o por la posterior.

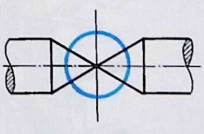


Figura 1.141 La posición de los puntos se comprueba (comprobación basta) corriendo la punta del cabezal móvil hasta la del husillo principal y presionando contra un papel interpuesto entre ellas. Estarán bien alineadas cuando ambas puntas coincidan haciendo un solo agujero en el papel.

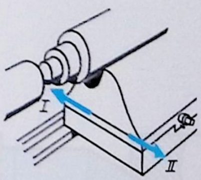


Figura 1.142 El punto del cabezal móvil se ajusta mediante desplazamiento transversal de este cabezal móvil cosa que se realiza con ayuda de un tornillo de ajuste. Si el perno trabajado resulta por delante demasiado delgado se corre el cabezal móvil en la dirección I, y si es al revés, en la dirección II.

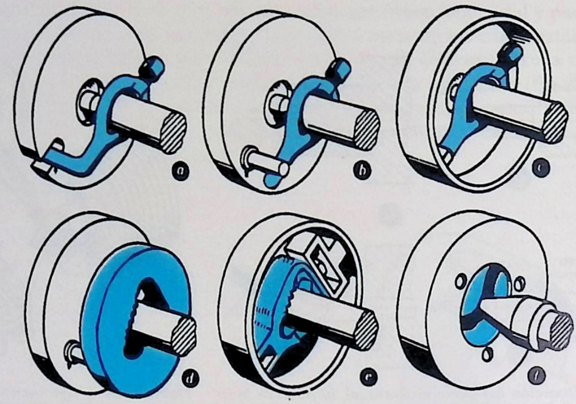


Figura 1.143 Platos de arrastre y perros de torno: *a*) Perro de torno con lengüeta curvada; *b*) perno de arrastre y perro de torno con lengüeta recta; *c*) plato de arrastre con pared protectora; *d*) plato para sujeción de seguridad; *e*) plato de arrastre con pieza de sujeción; *f*) plato de sujeción de arrastre automático con el cual pueden sujetarse de modo seguro piezas aunque no sean redondas (*a*, *b* no dan seguridad contra accidentes).

gún lubricante (semejante a la grasa empleada en los engrasadores a presión o con aceite grafitado). Empleando un contrapunto que gire, se evita el roce entre la pieza y la punta.

Normas de trabajo para tornear entre puntos

1. Rectificar los puntos de vez en cuando a 60° o, para piezas pesadas, a 90°.
2. Cuando aparecen vibraciones durante el trabajo de torno la superficie de la pieza no resulta limpia y además sufren la máquina y la herramienta. Para evitar las vibraciones, la pínola no debe sobresalir mucho; el carro y la pínola deben estar ajustados de tal modo que resulte fácil moverlos. A menudo se evitan las vibraciones variando la velocidad de corte, el avance y la profundidad de corte.
3. Después de las primeras pasadas, comprobar con frecuencia si el torno funciona concéntricamente.
4. La pieza se calienta mientras se la tornea y como consecuencia, se dilata. Con objeto de que no se curve o de que no se ejerza una presión excesiva sobre el punto del cabezal móvil, se la afloja de vez en cuando actuando sobre la pínola.

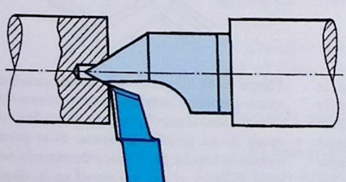


Figura 1.144 Empleo de medio contrapunto.

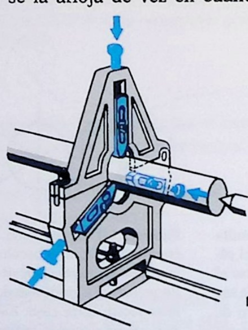


Figura 1.145 Luneta fija.

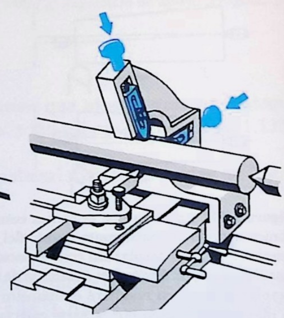


Figura 1.146 Luneta móvil.

5. Para disminuir el desgaste del punto del contrapunto debe engrasarse con frecuencia.
6. Cuando haya que refrentar entre puntos superficies frontales, empléese medio contrapunto (fig. 1.144).

Luneta y mandril para tornear

Empleo de la luneta

Las piezas largas y delgadas pueden flexarse mientras se tornean, con lo cual el diámetro resulta irregular. Aparte de esto, pueden producirse en la superficie de la pieza marcas debidas a las vibraciones. La luneta tiene por objeto impedir que la pieza se flexe. La luneta tiene mordazas desplazables, entre las cuales gira la pieza que se trabaja. Existen lunetas fijas y lunetas correderas o móviles. La luneta fija (figura 1.145) se monta en la bancada del torno, mientras que la móvil se fija al carro portaherramientas.

Sujeción en el mandril para tornear

Para poder mecanizar exteriormente piezas huecas de gran longitud y poco diámetro, se sujetan a espigas o mandriles sencillos o ajustables (figs. 1.147 y 1.148).

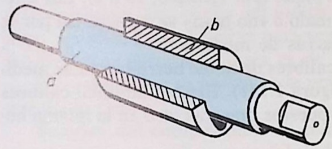


Figura 1.147 Sujeción en el mandril de tornear sencillo: *a*) mandril de tornear, conicidad de 0,05 mm en 100 mm; *b*) pieza a tornear.

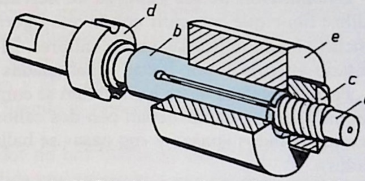


Figura 1.148 Sujeción en el mandril ajustable: *a*) mandril; *b*) manguito de sujeción; *c*) tuerca de aprieto; *d*) tuerca para aflojar; *e*) pieza a tornear.

Enderezamiento de árboles

Frecuentemente se suministra curvada la pieza en bruto. También durante el torneado se puede torcer la pieza. Para enderezarla se utiliza la llamada prensa de enderezar (fig. 1.149).

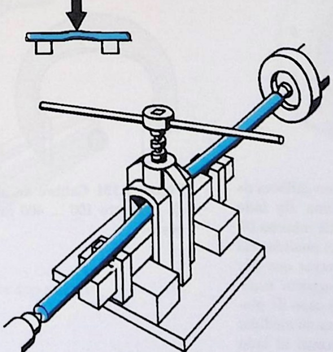


Figura 1.149 Prensa de enderezar.

Verificación con calibre de herradura, o de exteriores

Los instrumentos de medición indicadores, por ejemplo el pie de rey o el pálmer, para hacer comprobaciones tienen que ajustarse a la magnitud que se quiere medir. Los *calibres* son por el contrario instrumentos de comprobación que materializan entre sus superficies de verificación un valor fijo. Durante el calibrado no se pueden modificar las superficies de modo que solamente puede comprobarse una única medida.

Calibres de herradura. Una pieza fabricada según medidas de ajuste, por ejemplo un árbol, solamente será aprovechable cuando la medida real esté siempre comprendida entre la medida mínima y la máxima. Para calibrar (medidas) entre sus límites de tolerancia es para lo que se emplean los calibres límites o calibres de tolerancia (figura 1.150). Estos calibres corresponden a dos valores que son, respectivamente, la medida máxima y la mínima. La pieza es «buena» cuando la parte destinada a comprobar la cota máxima puede pasar resbalando sobre la pieza; esta pieza es «desperdicio» (o sea inaprovechable) cuando la parte del calibre destinada a la cota mínima pasa sobre la pieza. Se designan ambos lados del calibre como lado de «pasa» o lado «bueno» y lado de «no pasa» o lado «malo».

El calibrado con calibres de tolerancia o calibres límites se llama calibrado de medidas. El valor numérico de la medida real no viene, empero, determinada con ello. Basta con las constatación de que la medida está comprendida dentro de las medidas límites.

Designación de los calibres de herradura. La medida de ajuste grabada sobre el calibre tiene que coincidir con la que figura en el plano (por ejemplo, 30 h 6). Las diferencias vienen indicadas en los calibres. El lado malo o «no pasa» se caracteriza por ir pintado en rojo y por llevar achaflanadas las garras de medida.

Para diámetros hasta los 100 mm se emplean calibres de doble herradura. Las medidas mayores se comprueban con dos calibres (figura 1.151). Existen también calibres en que los lados «pasa» y «no pasa» se hallan dispuestos uno tras otro en la misma herradura.

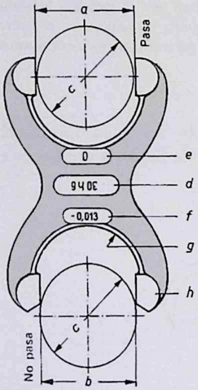


Figura 1.150 Designaciones en calibres de herradura: *a*) medida máxima *Dg* lado bueno (lado «pasa»); *b*) medida mínima *Dk* lado malo (lado «no pasa»); *c*) medida real del árbol, menor que *Dg* y mayor que *Dk*; *d*) medida de ajuste; *e*) diferencia superior; *f*) diferencia inferior; *g*) capa de pintura roja; *h*) mordazas o garras de medida, achaflanadas (*g* y *h* caracterizan al lado «no pasa» o lado malo.

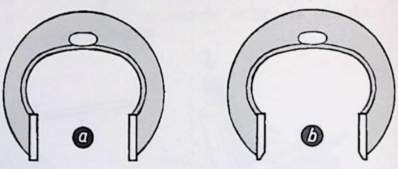


Figura 1.151 Calibre de una sola herradura para árboles de diámetro 100 ... 400 mm: *a*) lado «pasa»; *b*) lado «no pasa».

Manejo de los calibres de herradura. Para emplearlos hay que limpiar previamente los planos de medida en el calibre y en la pieza. El calibre y la pieza a medir han de estar a la misma temperatura (figura 1.152). No debe hacerse fuerza para las comprobaciones.

> *Atención:* ¡No comprobar piezas que estén en movimiento!

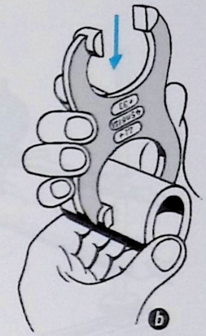


Figura 1.152 Comprobación con el calibre de herradura.

Comparador

En un comparador o micrómetro de esfera el movimiento rectilíneo del palpador hace girar por medio de un mecanismo de cremallera y ruedas dentadas un índice (fig. 1.154) que presenta sobre una escala el movimiento amplificado del citado palpador. La escala de lectura abarca toda la esfera. El valor de la escala es generalmente de 0,01 mm, es decir, que la distancia entre dos trazos de la esfera corresponde a un recorrido de 0,01 mm del palpador. La esfera se puede girar de modo que el cero quede cubierto por el índice. Estos comparadores también llamados relojes de medición, están normalizados (DIN 878). El tipo constructivo más corriente tiene las siguientes características: diámetro de la caja 60 mm; alcance de medición 10 mm; limbo graduado en 100 divisiones, una vuelta del índice correspondiente a un recorrido del palpador de 1 mm; el índice pequeño sirve para registrar los milímetros enteros. En algún tipo constructivo más pequeño la caja es de 40 mm y el campo de lectura de 3 mm.

El comparador se utiliza en la práctica fijando el vástago de sujeción en un soporte adecuado (fig. 1.153).

Empleo del comparador. El comparador no nos indica en general la medida real sino la diferencia (discrepancia) de la medida real respecto a una medida normal; por

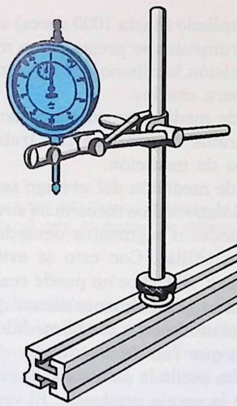


Figura 1.153 Comparador con soporte universal.

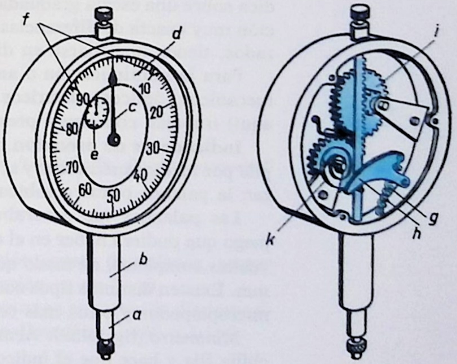


Figura 1.154 Comparador. *a)* Palpador, *b)* vástago de sujeción, *c)* índice, *d)* esfera, *e)* escala para indicación de los milímetros enteros, *f)* marcas de tolerancia, *g)* resorte, *h)* palanca, *i)* ruedas dentadas, *k)* resorte espiral para impedir el juego de los dientes.

ejemplo, una galga o calibre de extremos. Una medida de este tipo se llama medida de diferencias. Además de para auténticas medidas de diferencia (fig. 1.155) se prestan estos instrumentos a otros muchos fines análogos, como por ejemplo, para comprobar el giro concéntrico, para determinar la falta de planitud o de paralelismo de superficies, para ajuste de herramientas, etc.

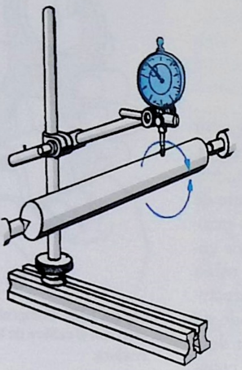


Figura 1.155 Verificación del giro concéntrico de un árbol (giro redondo).

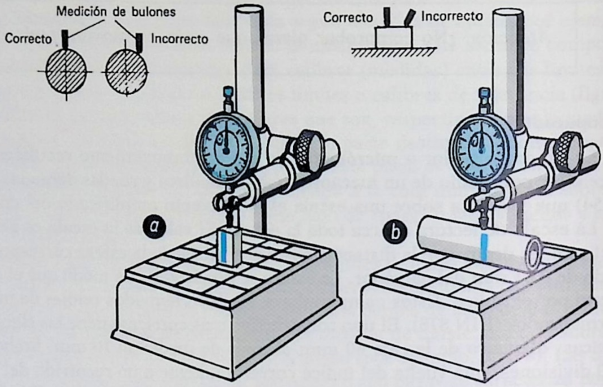


Figura 1.156 Medición de diferencias con el comparador. *a*) Colocar el calibre de extremos debajo del palpador y hacer coincidir el cero de la esfera con el índice, *b*) quitar el calibre de extremos y colocar el cuerpo a medir. El índice señalará la discrepancia entre la medida real y el calibre de extremos (medida teórica).

Indicador de precisión (palpador de precisión)

El recorrido del vástago de medición fuertemente ampliado (hasta 1000 veces) se indica sobre una escala graduada, de modo que estos instrumentos se prestan para medición muy exacta de diferencias. Los indicadores de precisión, lo mismo que los comparados, tienen que fijarse en dispositivos de sujeción para usarlos.

Para la multiplicación o ampliación en el aparato de medida, se emplean medios mecánicos, ópticos, eléctricos o neumáticos. Los aparatos neumáticos (no tratados aquí) trabajan con aire a presión y carecen de vástago de medición.

Indicadores de precisión mecánicos. El recorrido de medición del vástago se amplía por medios mecánicos y se transporta a un índice. Como medios mecánicos se utilizan la palanca o una combinación de palancas con ruedas o segmentos dentados.

Las palancas van generalmente soportadas sobre cuchillas. Con esto se evita el juego que pudiera haber en el caso de soporte de muñones. El índice no puede realizar vueltas completas, de modo que el campo de indicación es generalmente menor que 1 mm. Existen distintos tipos constructivos, por ejemplo el minímetro, el milimedidor, el micropalpador y otros más con valores de graduación que van de 1 a 10 µm.

Minímetro (fig. 1.159). Al moverse la espiga palpadora oscila la palanca sobre la cuchilla fija y hace que el índice se mueva a lo largo de la escala graduada. El resorte mantiene las distintas piezas en posición de reposo. Para la medición de «bueno» y «malo» (o desperdicio) hay en la escala dos marcas de tolerancia. El alcance de medición es, según el tipo constructivo, de 0,02 a 0,6 mm; el valor de la escala de 1 a 10 µm (véase uso en la página siguiente).

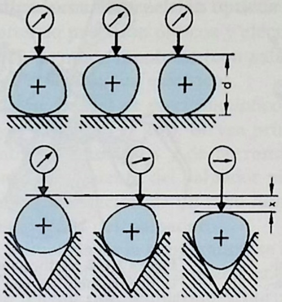


Figura 1.157 Medición de uniformidad de espesor con un comparador. *a*) La falta de redondez no se detecta (medición de dos puntos); *b*) La falta de redondez se detecta (medición de tres puntos).

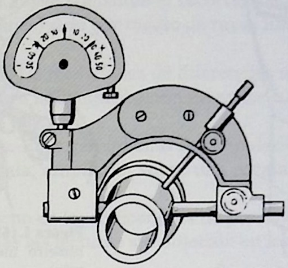


Figura 1.158 Milimedidor con calibre de herradura.

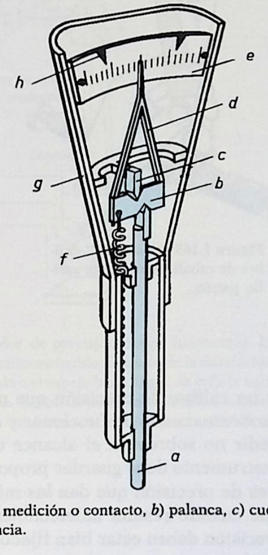


Figura 1.159 Minímetro. *a*) Espiga de medición o contacto, *b*) palanca, *c*) cuchilla fija, *d*) índice, *e*) escala, *f*) resorte, *g*) caja, *h*) marcas de tolerancia.

Milimedidor (fig. 1.158). El mecanismo de transmisión consta de palanca, sector dentado, rueda dentada e índice. El valor de la graduación es de 1 µm.

Uso del minímetro. Para su uso se dispone el minímetro en soportes de distintos tipos como son, por ejemplo, el de columna y el de caballete (figs. 1.160 a 1.164).

Manejo de los calibres de precisión

a) Como su nombre indica, estos calibres son instrumentos de precisión que han de ser, por lo tanto, manejados con sumo cuidado. Ante todo han de evitarse los golpes, pues su delicado mecanismo puede estropearse con ellos.

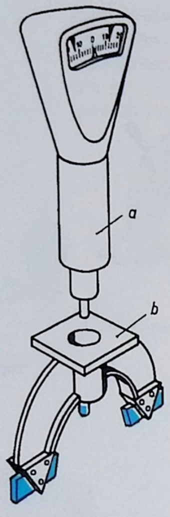


Figura 1.160 Calibre de caballete: *a*) minímetro; *b*) caballete.

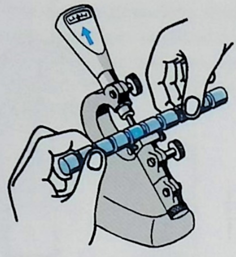


Figura 1.161 Ajuste del minímetro mediante varilla patrón.

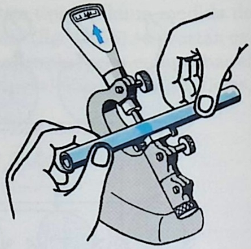


Figura 1.162 Verificación de la discrepancia de una pieza con el minímetro.

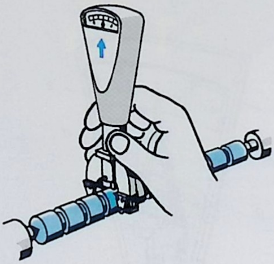


Figura 1.163 Ajuste del calibre de caballete mediante varilla patrón.

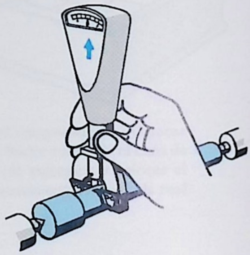


Figura 1.164 Verificación de la discrepancia de una pieza con el calibre de caballete.

b) Antes de manejar un calibre de precisión que nos sea desconocido tendremos que informarnos sobre su modo de funcionar y determinaremos, sobre todo, si la diferencia a medir no sobrepasa el alcance de medida del instrumento.

c) La exactitud del instrumento debe guardar proporción con el propósito de la medición. Los calibres de precisión que dan las milésimas de milímetro no deben emplearse más que cuando resulta indefectiblemente necesario.

d) Los calibres de precisión deben estar bien fijados a sus soportes correspondientes, pero sin forzarlos.

e) Antes de ajustar a cero el calibre de precisión, habrá que limpiar cuidadosamentte las superficies de apoyo y la pieza patrón.

f) La espiga de exploración, o palpador, debe quedar siempre normal a la superficie que se trate de comprobar, pues de lo contrario se obtendrían en la medición valores incorrectos. Cuando se quiere comprobar si un movimiento de giro es concéntrico, el eje de la espiga de medición debe pasar por el centro del cuerpo que gira.

g) Cuando se trate de obtener mediciones bien exactas hay que tener en cuenta la influencia de la temperatura. La pieza patrón y la pieza a verificar tienen que estar a la misma temperatura.

Indicadores de precisión ópticos y eléctricos. Para mediciones exactas se usan indicadores de precisión ópticos y eléctricos. En ellos no se transmite el recorrido de la medición de modo mecánico (con palancas y engranajes) sino por medio de rayos luminosos o de contactos eléctricos.

Los *indicadores de precisión ópticos* hacen posible las mediciones de diferencias con la mayor exactitud (1 μm). Sirven principalmente para la comprobación de calibres de extremos, calibres fijos y de herramientas exactas.

Por el movimiento del palpador pivota un espejo. Este movimiento de basculación provoca la desviación de un rayo luminoso que señala, ampliado, sobre una escala el desplazamiento del palpador.

La influencia de la temperatura se hace notar mucho en los indicadores de precisión ópticos, hasta el punto de que únicamente son posibles las lecturas sin objeción en locales que tengan una temperatura normal de 20°C.

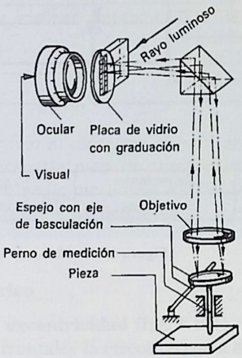


Figura 1.165 Principio de un indicador de precisión óptico (tolímetro). El rayo luminoso que sale de la fuente luminosa incide, después de la desviación en un prisma, a través del objetivo, sobre el espejo basculante, se refleja aquí y retrocede a una placa rayada con una escala. La desviación muestra aumentado el desplazamiento del palpador. La lectura se realiza por medio de un ocular que la amplía nuevamente.

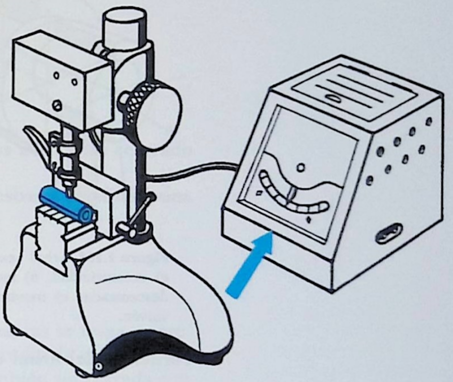


Figura 1.166 Calibrador Eltas.

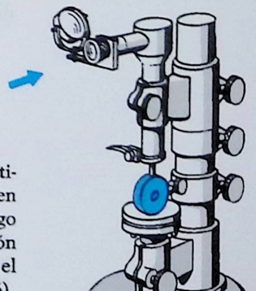


Figura 1.167 Indicador de precisión óptico.

Los *indicadores de precisión eléctricos* trabajan con la misma exactitud que los ópticos. Se emplean a veces para comprobación de piezas fabricadas en serie. No existen en estos aparatos apoyos o zonas de contacto cuyos desgastes puedan dar lugar a juego o medidas incorrectas. Por este motivo soportan también los indicadores de precisión eléctricos un trato más tosco, razón que los hace muy adecuados para mediciones en el taller. Un aparato muy conocido es, por ejemplo, el calibrador Eltas (figura 1.166).

El movimiento de la espiga de medición da lugar a pequeñas variaciones de corriente en las bobinas de los electroimanes del cabezal del aparato siendo indicadas estas corrientes por medio de un miliamperímetro. La escala correspondiente a éste está graduada en milésimas de milímetro.

MECANIZADO DE ÁRBOLES EXCÉNTRICOS

En un árbol excéntrico están desplazados los ejes para algunos diámetros o secciones. La medida del descentramiento se llama también excentricidad.

Los árboles excéntricos se emplean cuando quiere producirse un movimiento lineal de vaivén como, por ejemplo, en árboles de embrague (embrague de la contramarcha en un torno con cambio de velocidades por poleas escalonadas), para fines de fijación o sujeción, en prensas, etc. (Fig. 1.168).

Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado. Mecanización de un árbol excéntrico (figura 1.169) según plano; tolerancias, según tabla 46.1.

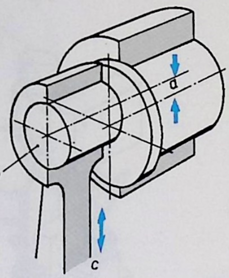


Figura 1.168 Árbol excéntrico: *a*) excentricidad; *b*) muñequilla descentrada; *c*) movimiento de vaivén.

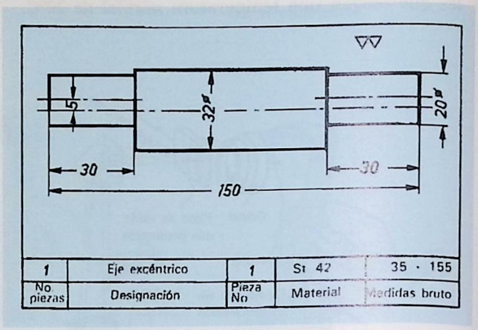


Figura 1.169 Plano de taller.

Torneado del árbol excéntrico

Se sujeta la pieza en el plato de tres garras y se tornea en cuanto a longitud. Después de taladrar en ambas caras frontales los puntos de centrado correspondientes, se desbasta la pieza dejándola al diámetro mayor, aproximadamente a unos 33 mm. A continuación se trazan los puntos de centrado para las muñequillas descentradas y se taladran (fig. 1.170).

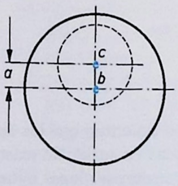


Figura 1.170 Puntos de centrado en el árbol excéntrico: *a*) cota del descentramiento; *b*) punto de centrado principal; *c*) punto de centrado para las muñequillas desplazadas excéntricamente respecto al punto de centrado principal.

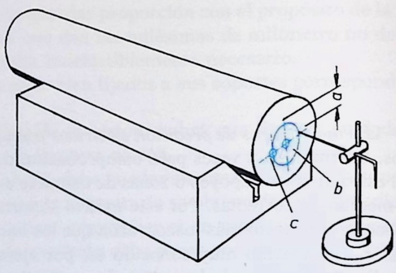
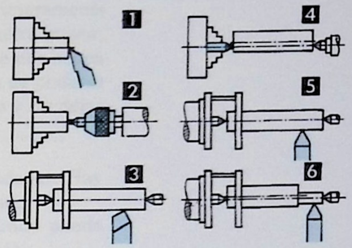


Figura 1.171 Trazado de la excentricidad: *a*) excentricidad; *b*) circunferencia de excentricidad; *c*) punto de intersección.

Plan de trabajo

	Fases del trabajo	Herramientas
1	Dejar la pieza a su longitud y refrentar las caras frontales	Útil de corte lateral R 2020 S DIN 4960
2	Establecer los puntos de centrado para ∅ 32	Broca de centrar A 2,5 DIN 333
3	Desbastar entre puntos a ∅ 33	Útil de corte R 2020, DIN 4951
4	Trazar y taladrar los puntos de centrado para las muñequillas descentradas	Gramil, compás, broca de centrar
5	Terminar mecanización entre puntos a ∅ 32	Útil de afinar 2020 S, DIN 4955
6	Desbastar y afinar muñequillas a ∅ 20.	Útil de corte DIN 4951 Útil de corte DIN 4955 Útil de corte DIN 4960



El torneado previo al diámetro mayor, antes de establecer los puntos de centrado excéntricos, es necesario para un trazado impecable.

El árbol se termina de mecanizar a ∅ 32. Después de esto se desbastan y afinan, una después de otra, las dos muñequillas.

Torneado excéntrico

Trazado de la excentricidad (fig. 1.171). Con el compás de puntas se traza en ambas bases o caras frontales la circunferencia de excentricidad. El radio de estas circunferencias es igual a la excentricidad. La circunferencia puede también ser trazada con el gramil de trazador entre puntos del torno. La pieza se coloca sobre la uve y con la punta de trazar del gramil situada exactamente a la altura del centro, se traza sobre cada una de las caras una línea. Los puntos de intersección de las líneas con las circunferencias de excentricidad son las posiciones que buscamos de los puntos de centrado. Hay que observar que ambas líneas horizontales deben estar situadas en un mismo plano.

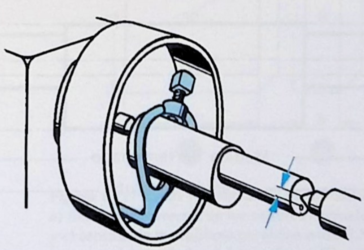


Figura 1.172 Torneado excéntrico.

Procedimiento para tornear con descentramiento. Cuando la excentricidad es suficientemente grande pueden establecerse ambos taladros de los puntos de centrado necesarios (fig. 1.173). Se tornea primeramente el diámetro mayor y después las partes excéntricas.

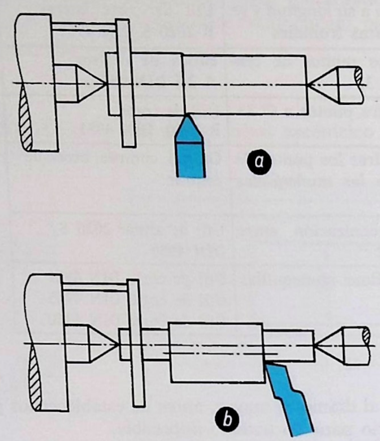


Figura 1.173 Mecanizado de un árbol excéntrico con gran excentricidad. *a*) Torneado al diámetro mayor; *b*) torneado de las muñequillas.

Cuando se trata de excentricidades pequeñas se termina primeramente el torneado de la pieza al diámetro mayor. Después de esto, se eliminan, mediante refrentado, los puntos de centrado empleados y se realizan sobre ambas caras frontales los puntos de centrado excéntrico (fig. 1.174). La pieza en bruto debe tener una longitud suficiente para ello.

Para sujetar la pieza en el torneado excéntrico pueden usarse platos de sujeción excéntricos.

Los *cigüeñales* tienen frecuentemente excentricidades muy grandes y se tornean en tornos especiales para ello.

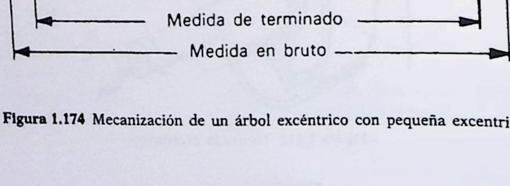


Figura 1.174 Mecanización de un árbol excéntrico con pequeña excentricidad.

Verificación de la excentricidad

La excentricidad puede comprobarse por medio de calibres normales de caras paralelas (fig. 1.175).

Se coloca la pieza con la uve sobre el mármol o placa de trazar. La normal tiene que estar vertical y para disponerlo así se utiliza la escuadra con espaldón. Primeramente se halla la altura *M* introduciendo calibres por debajo de la sección de diámetro mayor. Esa magnitud tiene relación con la altura del prisma o uve y en el caso que nos ocupa sería de 20 mm. Si por ejemplo la excentricidad ha de ser de 5 mm, habrán de poderse meter por debajo de las muñequillas del árbol, calibres de la siguiente altura y sin dejar huelgo alguno (véase plano de taller de la página 72):

$E = 5 + 16 + 20 - 10 = 31$ mm

Este procedimiento de verificación es adecuado para grandes excentricidades. Hay que emplearlo también cuando no se conserven los dos puntos de centrado.

Cuando la excentricidad es pequeña y se conservan los puntos de centrado puede emplearse el comparador para la verificación que nos ocupa (figura 1.176).

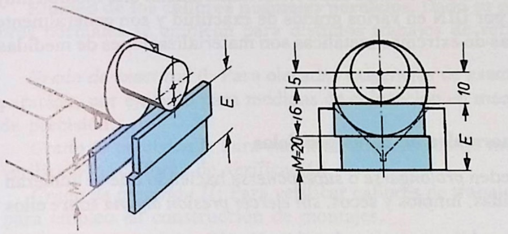


Figura 1.175 Verificación de la excentricidad por medio de calibres normales de caras paralelas.

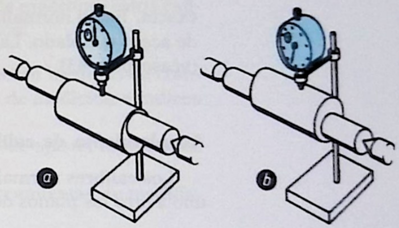


Figura 1.176 Medición de la excentricidad con el comparador. *a*) Búsquese el punto más bajo y ajústese el limbo a cero; *b*) gírese la pieza hasta obtener la máxima desviación de la aguja; la excentricidad será igual a la mitad de la desviación máxima que indique el aparato.

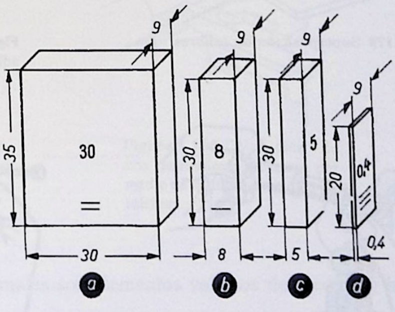


Figura 1.177 Cotas y designación de los calibres normales de caras paralelas. *a*) Sección transversal de los calibres normales paralelos de más de 10 mm; *b*) y *c*) sección de los calibres paralelos entre 0,5 y 10 mm; *d*) sección de los calibres por debajo de los 0,5 mm. Los calibres normales inferiores a los 6 mm llevan la inscripción en los planos de medida.

Calibres normales de caras paralelas

Los calibres normales de caras paralelas son bloques de medición de distintas longitudes. Su sección transversal es generalmente rectangular. Entre las superficies de medición planas y paralelas y de elevada calidad superficial materializan una medida muy exacta. Están normalizados por DIN en varios grados de exactitud y son generalmente de acero templado. Las galgas de extremos metálicas son materializaciones de medidas (véase pág. 43).

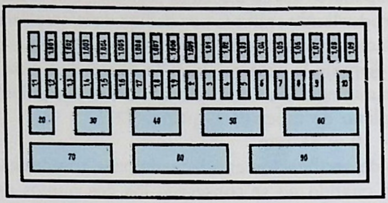


Figura 1.178 Juego normal con 45 calibres.

Acoplamiento de calibres normales de caras paralelas

Los calibres normales pueden *prolongarse* o *superponerse* haciendo que se adhieran uno a otro los planos de medidas, limpios y secos, *sin ejercer presión alguna* sobre ellos

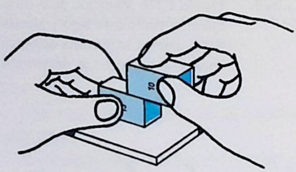


Figura 1.179 Superposición de calibres.

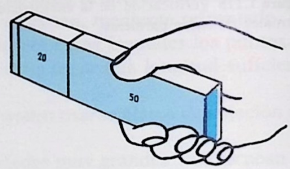


Figura 1.180 Los calibres se mantienen adheridos entre sí.

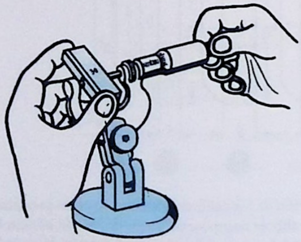


Figura 1.181 Comprobación de un pálmer por medio de calibres normales de caras paralelas.

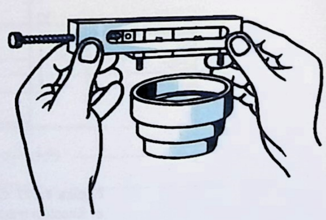


Figura 1.182 Calibres paralelos puestos en un soporte con patas para medir.

(por el simple pulimentado de sus caras) cuando se superponen o puede también hacerse que se adhieran mediante *una ligera presión* cuando se prolongan.

Cuanto mejor es la calidad superficial de los planos de medida, tanto más fácil resulta la adherencia por el sistema de simple contacto, es decir, sin ejercer presión. Cuando las superficies de medición estén arañadas no se adhieren.

Los calibres acoplados entre sí no deben permanecer unidos durante un largo espacio de tiempo, pues se corre el peligro de que se suelden en frío.

Al unir unos a otros los distintos calibres se empieza por la unidad más pequeña.

Ejemplo: Se trata de componer la longitud 38,014 mm.

Solución: 1.er calibre 1,004 mm
2.° calibre 1,010 mm
3.er calibre 6,000 mm
4.° calibre 30,000 mm

Longitud calibre = 38,014 mm

Empleo de los calibres normales paralelos. Dado su grado de exactitud, estos calibres normales se emplean para distintos trabajos de verificación.

Grado de exactitud 0: Para elevadas exigencias de exactitud como medidas de comparación, por ejemplo para medidas de colocación en máquinas de medición e índices de precisión.

Grado de precisión I: Para exactitud corriente como medidas de ajuste, medidas de verificación, calibres de verificación.

Grado de precisión II: Para verificar calibres de trabajo y herramientas de medida, para empleo en construcción de montajes.

Grado de precisión III: Medidas de ajuste, medidas de trabajo.

Grados de precisión más bajos (no normalizados): Para trazado y colocación de máquinas-herramienta, como medidas de tope, etc.

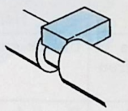


Figura 1.183 Comprobación de una ranura por medio de calibres normales paralelos.

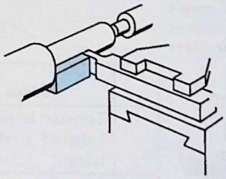


Figura 1.184 Colocación de una herramienta de torno por medio de calibres normales paralelos.

Cuidados. Los calibres normales son elementos valiosos de medida y han de ser manejados con todo cuidado.

Para protegerlos contra el sudor y el calor de las manos se manejan en lo posible con pinzas de madera o con un trozo de gamuza. Hay que protegerlos también contra choques, el polvo producido al afilar y la humedad. Después de ser utilizados deben ser engrasados los calibres con una delgada capa de vaselina.

TORNEADO DE PIEZAS DE FORMA

Mecanización de un mango

Las piezas torneadas se proveen frecuentemente de redondeamientos o acuerdos y y se fabrican para infinidad de aplicaciones (fig. 1.185). A los mangos, empuñaduras y pomos se les dota, por ejemplo, de redondeamientos con objeto de que se puedan agarrar y manejar con más comodidad; en una polea para cable se tornea una garganta que sirve de guía para el cable; los manubrios o muñequillas de los árboles se redondean en la unión con éstos (media caña) (fig. 1.186) con objeto de mejorar su resistencia, etc., etc.

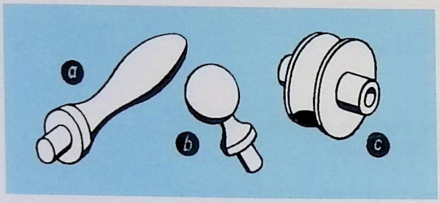


Figura 1.185 Ejemplos de piezas de forma. *a*) Mango; *b*) pomo; *c*) polea para cable.

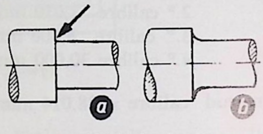
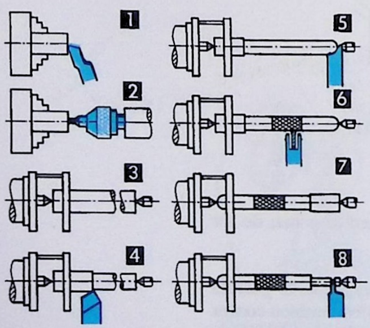


Figura 1.186 Redondeamientos en piezas rebajadas o con espiga. *a*) Peligro de rotura por acción de entallado; *b*) disminución del peligro de rotura mediante un redondeamiento.

Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado. Mecanizar un mango o empuñadura (figura 1.187) de acuerdo con el plano. El redondeamiento del extremo y la entalladura de media caña en la espiga se realizan mediante útiles de forma o de perfilar. Con objeto de poder regular la terraja con la empuñadura, se ha previsto una rosca. La superficie moleteada sirve para hacer que la mano no resbale al accionar la empuñadura para regular la terraja.

Plan de trabajo



	Fases del trabajo	Herramientas
1	Tornear la pieza en bruto a su longitud y refrentar caras frontales	Útil de corte lateral
2	Ejecutar puntos de centrado	Broca de centrar A 2,5
3,4	Sujetar la pieza; tornear a Ø 20	Cuchilla de torno recta y de punta
5	Tornear redondeamiento	Útil de forma
6	Moletear superficie de la empuñadura	Aparato de moletear
7,8	Dar la vuelta a la pieza: tornear espiga y acanaladura	Útil recto, de punta y de forma
9	Respecto a tallar la rosca, véase pág. 227.	
Instrumentos de medida y de verificación: regla metálica; pie de rey, plantilla de forma.		

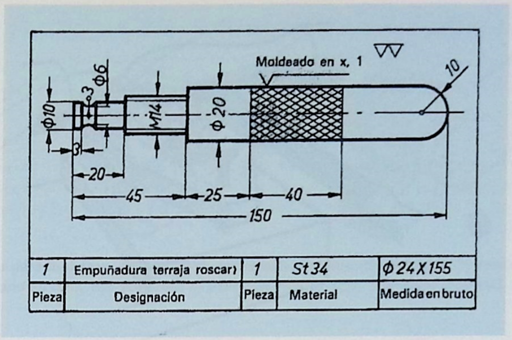


Figura 1.187 Plano de taller.

Torneado de formas

Mediante esta operación se consiguen redondeamientos y otros perfiles en las piezas torneadas (figs. 1.188 a 1.191). Se utilizan para ello, principalmente, herramientas de forma o de perfilar, que han de coincidir con el perfil de la pieza a mecanizar.

Los útiles de forma no tienen ángulos de ataque. Con objeto de que conserven su forma no se afilan nada más que por la superficie de ataque.

Para el torneado de formas, cuando se trata de fabricación en serie, se emplean útiles de forma redondos (fig. 1.190) que permiten ser afilados con mucha frecuencia sin perder su perfil.

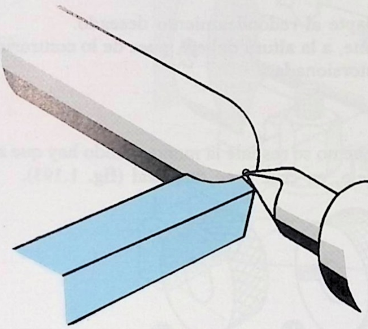


Figura 1.188 Torneado de piezas con un útil de forma.

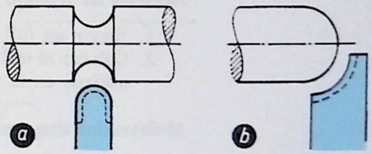


Figura 1.189 Útiles de forma. *a*) Útil para redondeamientos cóncavos; *b*) útil para redondeamientos convexos.

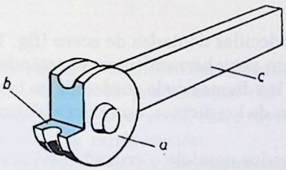


Figura 1.190 Útil de forma redondo con portaútil. *a*) Cuchilla redonda, *b*) superficie de corte, *c*) mango.

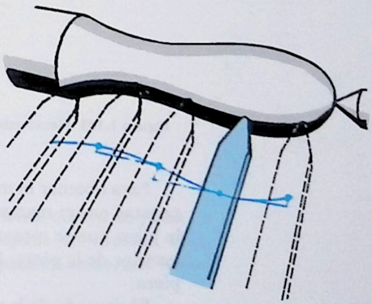


Figura 1.191 Torneado de forma por desplazamiento del útil simultáneamente en sentido longitudinal y en sentido normal al eje principal.

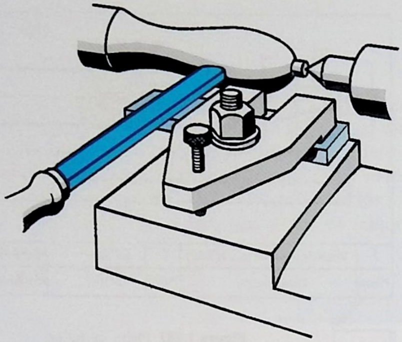


Figura 1.192 Acabado con la herramienta de mano (poco corriente).

El torneado de piezas de forma por desplazamiento de la herramienta normalmente al eje principal al mismo tiempo que se desplaza longitudinalmente, exige mucha habilidad (fig. 1.191). Los redondeamientos pequeños pueden conseguirse al torno por medio del útil de mano.

En la fabricación en serie se utiliza para mayores perfiles una guía aplantillada a lo largo de la cual se va moviendo el carrillo portaútil. El procedimiento es análogo al del torneado de conos con ayuda de la regla de guía (véase pág. 130).

Normas de trabajo para el torneado de formas

1. Elegir un útil de forma que se adapte al redondeamiento deseado.
2. Colocar el útil de forma, exactamente, a la altura del eje, pues de lo contrario se obtiene en la pieza una forma distorsionada.

Moleteados diagonal y paralelo

Con objeto de obtener superficies en que no se resbale la mano cuando hay que agarrarlas, se las dota de moleteados paralelo, en cruz o en diagonal (fig. 1.193).

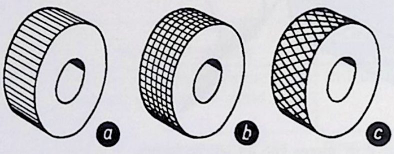


Figura 1.193 Piezas moleteadas. *a*) Moleteado paralelo; *b*) moleteado en cruz; *c*) moleteado diagonal.

Para obtener el moleteado se emplean ruedecillas dentadas de acero (fig. 1.194) dispuestas en un mango que se sujeta en el carro portaherramientas, apretándose contra la pieza que se mecaniza. Con esto se graban los dientes de la ruedecilla en la superficie exterior de la pieza. En virtud de la impresión de los dientes, aumenta el diámetro de la pieza.

El dentado de las ruedecillas para moleteados paralelo o cruzado está normalizado por la DIN 82. Se elige según el diámetro, la anchura y el material de la pieza. La designación moleteado 1 significa un moleteado diagonal con 1 mm de separación entre rayas.

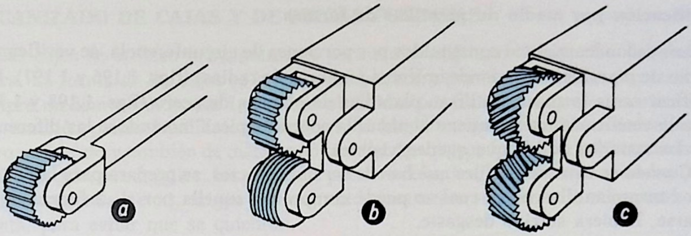


Figura 1.194 Herramientas para moletear. *a*) Rueda para moleteado paralelo, con portaútil; *b*) pareja de ruedas montadas para moleteado en cruz, con portaútil; *c*) pareja de ruedas para moleteado diagonal, con portaútil.

Normas de trabajo para moletear

1. Las ruedas para moletear hay que escogerlas teniendo en cuenta el dibujo que se desea obtener y la separación entre rayas.
2. La velocidad periférica de la pieza tiene que ser de magnitud igual a la velocidad de corte para desbastar.

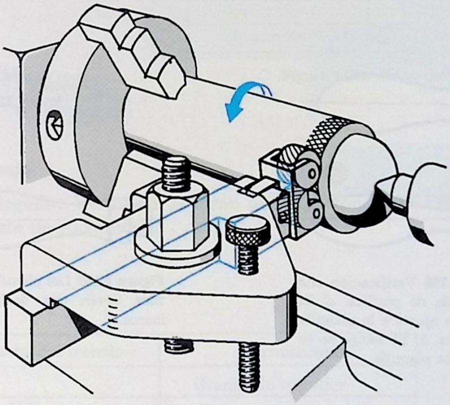


Figura 1.195 Proceso del trabajo de moleteado diagonal.

3. Para empezar el moleteado diagonal se aprieta la herramienta contra la pieza para obtener la profundidad del moleteado. Póngase después en marcha el avance (0,5 × separación entre rayas) y recórrase la pieza a presión uniforme. No olvidarse la refrigeración.
4. Las estrías de las ruedecillas tienen que limpiarse frecuentemente con cepillo de alambre para eliminar restos de material.

Verificación por medio de plantillas de formas

Los redondeamientos constituidos por porciones de circunferencia, se verifican por medio de plantillas de redondeamientos (calibres de radios) (figs. 1.196 y 1.197). Para verificar otras formas se utilizan plantillas de plancha de acero (figs. 1.198 y 1.199). Para la verificación se mantiene la plantilla contra la pieza, notándose las diferencias por las rendijas de luz que queden visibles.

Cuando se trate de perfiles que han de ser muy exactos, se prepara para la plantilla una contraplantilla con la cual se puede comprobar aquella por si, a fuerza de emplearse, hubiera sufrido desgaste.

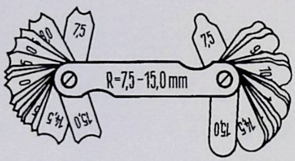


Figura 1.196 Calibre de radios.

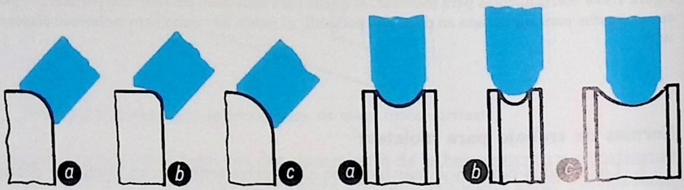


Figura 1.197 Verificación de redondeamientos convexos y cóncavos. *a*) Redondeamiento ajustado a la plantilla; *b*) redondeamiento demasiado pequeño; *c*) redondeamiento demasiado grande.

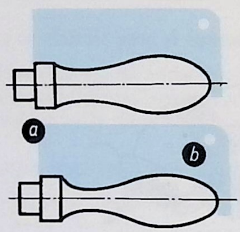


Figura 1.198 Verificación con la plantilla de perfiles. *a*) El mango se ajusta a la plantilla de perfiles. *b*) El mango no se ajusta a la plantilla.

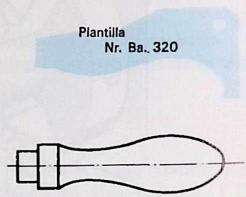
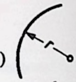


Figura 1.199 Las plantillas de perfiles llevan una designación o marca.

Tabla 1.8 Radios para redondeamientos. **(Extracto de DIN 250)**



Los radios de las series preferente deben tener la primacía en el uso. Los radios corresponden a los números normales de DIN 323.

Serie preferente	0,2		0,4		0,6		1		1,6		2,5		4	
Serie secundaria	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	2	4	
Serie preferente		6		10		16		20		25		32		40
Serie secundaria	5	6	8	10	12	16	18	20	22	25	28	32	36	40
Serie preferente		50		63		80		100		125		160		200
Serie secundaria	45	50	56	63	70	80	90	100	110	125	140	160	180	200

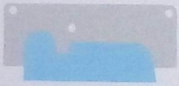


Figura 1.200 Calibre de perfiles con un contraperfil.



MECANIZADO DE CAJAS Y DE PIEZAS FUNDIDAS

Las cajas se utilizan principalmente para alojar engranajes, soportes, árboles, etcétera. La forma de las cajas es a veces complicada y por este motivo se fabrican casi siempre mediante fundición. Las piezas obtenidas por fundición, que es corriente llamar también piezas fundidas, pueden ser de fundición gris, fundición maleable, de acero moldeado y también de metales no férreos. Las piezas fundidas, sobre todo las de fundición gris, son frágiles; las piezas de paredes delgadas, para ser mecanizadas (taladradas, torneadas, etc.), exigen ser muy cuidadosamente sujetas en la máquina-herramienta, para evitar que se quiebren.

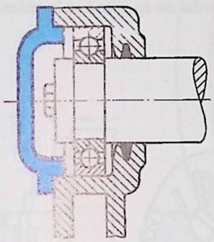


Figura 1.201 Cojinete de rodamiento con caja.

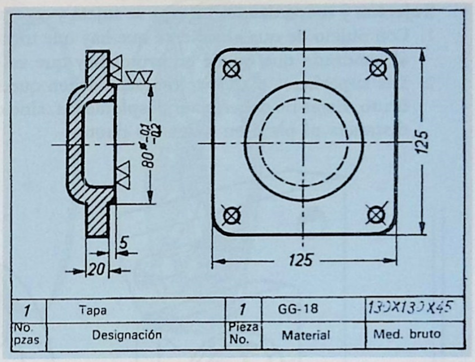
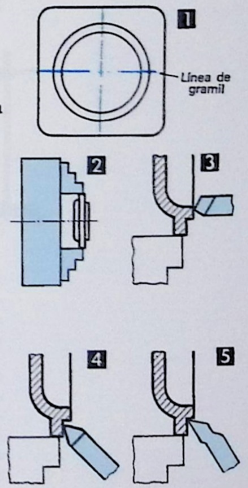


Figura 1.202 Plano de taller.



Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado: Mecanizar al torno una tapa con resalto (fig. 1.202) para la caja de un cojinete de rodamiento.

Plan de trabajo

Fases del trabajo	Herramientas
1 Trazado	Gramil de trazador
2 Sujeción de la pieza	Plato de torno
3 Desbastado	Útil recto
4 Afinado	Útil de punta
5 Cilindrado	Útil de corte lateral
Instrumentos de medida y verificación: pie de rey, calibre de profundidades, regla.	

Mecanización de la tapa

Verificación de las medidas de la pieza en bruto. La pieza se suministra fundida y hay que comprobarla, por esto, minuciosamente en cuanto a medidas en bruto y defectos de fundición.

Trazado. Mediante el trazado de dos ejes (fig. 1.203) se establecen unas referencias de partida para el mecanizado.

Para que las rayas del gramil se vean bien se pintan en color las zonas en que han de trazarse. Para las piezas en bruto de fundición, se prestan bien la creta en polvo disuelta en agua o también la lechada de cal (barro de carburo cálcico procedente del generador de acetileno).

Para proceder al trazado se sujeta la pieza a un ángulo. Las líneas de trazado se marcan en la superficie de la pieza previamente preparada. Para esto se emplea la punta de trazar colocada en el gramil del trazador. No se obtiene un buen trazado nada más que empleando buenas puntas de trazar.

Sujeción y mecanizado. La tapa se sujeta y centra en el plato de torno (fig. 1.204).

1. Con objeto de que el saliente que hay que tornear quede bien centrado respecto al cuadrado que quede en bruto, hay que valerse de los ejes trazados.
2. Las superficies planas refrentadas deben quedar paralelas a las que quedan en bruto. Éstas no deben estar desplomadas, sino que habrán de mantener la misma distancia al plato en todos los puntos.

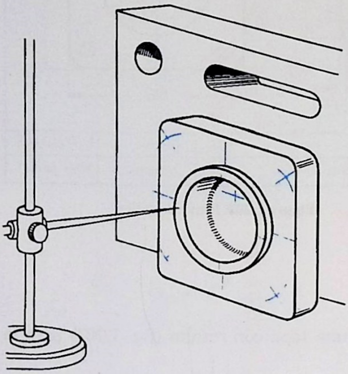


Figura 1.203 Trazado de los ejes.

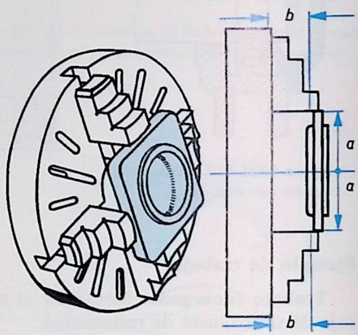


Figura 1.204 Sujeción de la tapa en el plato del torno. *a)* La sujeción ha de hacerse atendiendo al centrado; *b)* con equidistancia al plato.

Para tornear se emplea la velocidad de corte adecuada para la fundición de hierro. La cascarilla de fundición es muy dura. La primera pasada al torno hay que darla con suficiente profundidad de corte. Cuando el útil trabaja sobre la cascarilla de fundición se embota prematuramente.

Medición y verificación de la tapa mecanizada. El diámetro del resalto se mide con el pie de rey y su longitud con el calibre de profundidades. Para verificar si las superficies de la tapa son lisas y planas puede emplearse una regla de filo (fig. 1.205); la

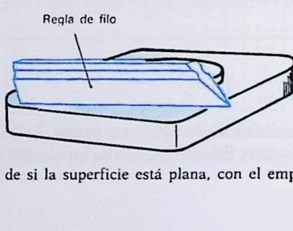


Figura 1.205 Verificación de si la superficie está plana, con el empleo de una regla de filo.

comprobación se hace por el procedimiento de la rendija de luz. Con este objeto se coloca la regla en distintas posiciones (véase la página 158).

Modo de disponer las piezas en el plato del torno

El plato del torno se utiliza para sujetar piezas irregulares o también piezas de gran tamaño (figs. 1.206 y 1.207). Las garras pueden desplazarse independientemente unas de otras. Invirtiéndolas pueden ser utilizables tanto en el caso de piezas grandes como en el de piezas pequeñas.

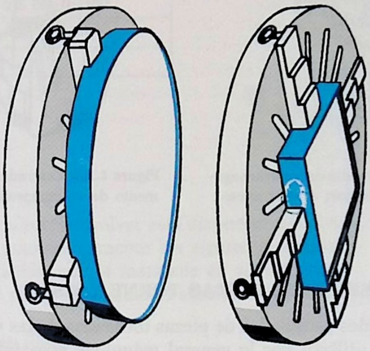


Figura 1.206 Sujeción en el plato de torno.

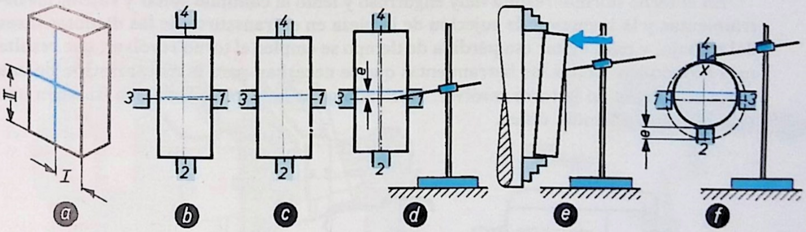


Figura 1.207 Sujeción en el plato y modo de disponer la pieza con ayuda del gramil trazador. *a)* Pieza a sujetar en el torno provista de líneas de trazado. *b)* Las mordazas se ajustan a las medidas I y II. *c)* La pieza se coloca sobre las mordazas 1 y 2 y se sujeta con las 3 y 4. *d)* La pieza se centra. Con la aguja de trazar colocada exactamente a la altura del centro se comprueba si las líneas trazadas pasan por el centro. El gramil se mueve, para ello, sobre una placa que descansa sobre la bancada del torno. Si, por ejemplo, la línea horizontal que se ha trazado está descentrada en la magnitud «*e*», se aflojará la mordaza 2 en la mitad de la cota «*e*» y se hará descender por el contrario la mordaza 4. Se procederá de este modo tantas veces como sea necesario para que ambos ejes pasen por el centro. *e)* Eliminación del desplome lateral. La pieza se golpeará con cuidado para retrasar la zona que avanza, empleando para ello un martillo de goma, hasta que la aguja de trazar toque por igual la superficie plana de la pieza al girar ésta. *f)* Una pieza puede centrarse también guiándonos por su perímetro. Si la aguja de trazar toca a la pieza en *X*, se afloja la mordaza 2 en la mitad de «*e*» y se baja la mordaza 4.

Las piezas voluminosas pueden sujetarse también con tornillos y calzos. Con este objeto, los platos van provistos de ranuras de sujeción. Las ranuras abiertas de la cara frontal del plato sirven para facilitar la alineación o centrado (figura 1.208).

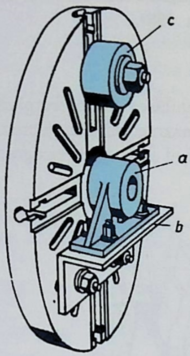


Figura 1.208 Sujeción por medio de soporte angular. *a*) Pieza; *b*) soporte angular; *c*) contrapeso.

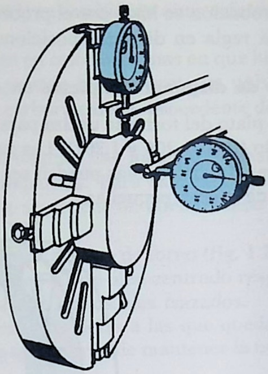


Figura 1.209 Centrado y aplomado de piezas por medio de un comprobador.

MECANIZADO EN SERIE DE PIEZAS TORNEADAS

Para fabricar grandes cantidades de piezas torneadas de las mismas dimensiones y de igual material, se utilizan por lo general máquinas especiales.

El torno revólver (fig. 1.210)

En el torno normal resulta muy engorroso y lento el continuo soltar y sujetar las herramientas y la inversión de sujeción de la pieza en el transcurso de las distintas fases del trabajo, y para evitar esa pérdida de tiempo se emplea el torno revólver, que resulta más económico. Todas las herramientas que se necesitan para la mecanización de una pieza se sujetan en la torre revólver. Haciendo girar la torre se hace que trabajen uno tras otro los distintos útiles.

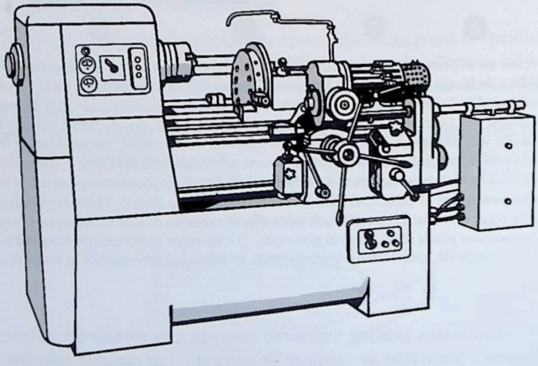
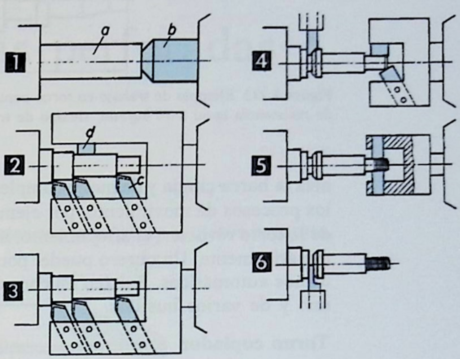


Figura 1.210 Torno revólver.

Ejemplo de trabajo para la mecanización de un perno en el torno revólver

1	Avance de la varilla *a*, hasta el tope *b*.
2	Desbaste del perno (*c*, útiles; *d*, guía).
3	Afinado del perno.
4	Torneado de los chaflanes.
5	Tallado de rosca.
6	Tronzado.



Por regla general, la torre revólver está dispuesta de tal modo que al alejar del corte el carro, se realizan automáticamente los siguientes procesos:

1. Se suelta la fijación que la mantiene en su posición:
2. Se gira hasta el punto de quedar el siguiente útil preparado para su aplicación a la pieza;
3. Vuelve a quedar fijada.

El cambio de útiles se realiza, por lo tanto, de un modo automático. El avance puede realizarse a mano o por medio de un husillo y al chocar contra unos topes se desembraga automáticamente.

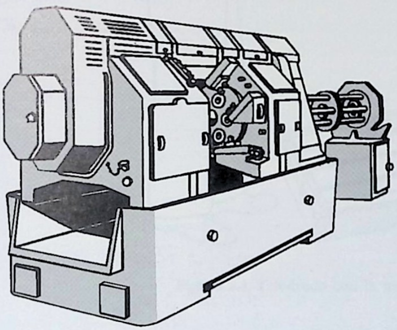


Figura 1.211 Torno automático.

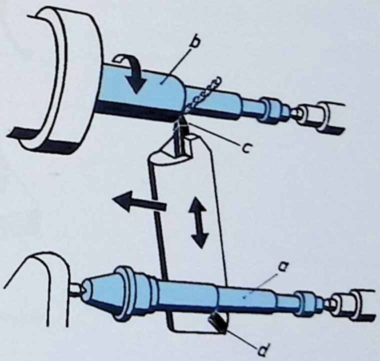


Figura 1.212 Torneado según plantilla. *a*) Pieza que sirve de muestra; *b*) pieza que se mecaniza; *c*) útil de tornear; *d*) palpador. El palpador toca la pieza-muestra de modo relativamente ligero. La fuerza para el movimiento del útil del torno se produce hidráulica o eléctricamente.

Tornos automáticos (fig. 1.211)

La pieza en bruto –generalmente en forma de barra– se introduce por el eje hueco del cabezal y se sujeta mediante un dispositivo de fijación. El torno automático meca-

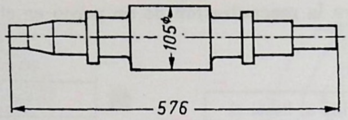


Figura 1.213 Ejemplo de trabajo en torno copiador. Árbol para rueda helicoidal de acero níquel-molibdeno de resistencia igual a 70 kg/mm; tiempo de trabajo, 7,8 minutos.

niza la barra citada y de modo completamente automático, una pieza tras la otra. Todos los procesos de movimiento, por ejemplo el avance y el retroceso del carro, la inversión de la torre revólver, el aflojamiento, avance y nueva fijación de la barra, se realizan automáticamente. Un obrero puede, por esta razón, tener a su cargo el cuidado de varios tornos automáticos. Existen muchos tipos de torno automático, como, por ejemplo, de uno y de varios husillos.

Torno copiador

Por medio del torneado según plantilla en tornos especiales de copiar se pueden obtener con rapidez y exactitud piezas iguales unas a otras. Un palpador se mueve a lo largo de una pieza que sirve de muestra y transporta sus movimientos a un útil de tornear que tornea la pieza reproduciendo la muestra dada. Con esto se ahorra el ajuste a los distintos diámetros.

Capítulo 2

Fabricación de piezas perforadas

Taladros en las piezas

Los taladros que podemos encontrar en las piezas son unas veces agujeros pasantes y otras agujeros ciegos (fig. 2.2).

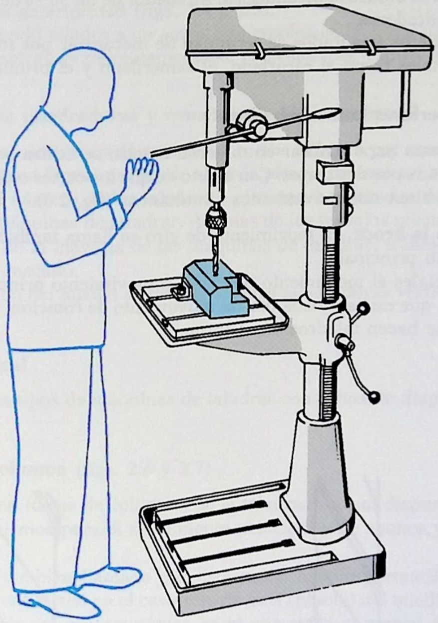


Figura 2.1 Taladrado con la máquina de taladrar.

Los taladros tienen los más diversos fines; así, por ejemplo, se utilizan para alojar remaches, tornillos, pernos, árboles, émbolos, etc., o para dar paso a gases, líquidos, etc.

Taladrar es arrancar virutas con útiles de uno o de varios filos (brocas). Los filos están constantemente en acción. Se practican agujeros con superficie interior cilíndrica. El taladrar es arrancar viruta en plan de desbastar.

Como máquinas-herramienta para este trabajo se emplean preferentemente las taladradoras pero también a veces los tornos, los tornos revólver, los automáticos, etc.

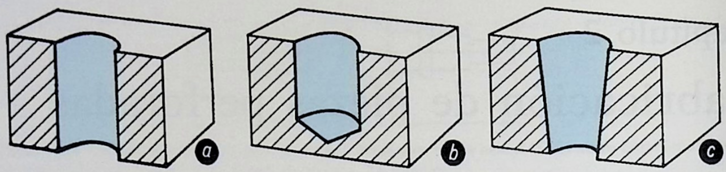


Figura 2.2 Diversos tipos de taladros. *a*) Agujero cilíndrico pasante; *b*) agujero cilíndrico ciego; *c*) taladro cónico pasante.

Además de por arranque de viruta, se pueden practicar agujeros en las piezas por otros procedimientos que no entrañen formación de viruta, como por ejemplo, por estampado o punzonado, por medio de soplete, por medio de un noyo al fundir, etc.

El taladrado constituye uno de los procedimientos de trabajo por arranque de viruta más importantes de la industria metalúrgica. Alrededor de un 30 % de las máquinas-herramienta son taladradoras.

A veces los agujeros taladrados se terminan de mecanizar por medio de procedimientos de afino, tales como el escariado, el esmerilado y el bruñido.

Movimientos al perforar con taladradora

Como herramienta para taladrar en material macizo se utiliza preferentemente la broca espiral formada por dos cortes. Con objeto de que los cortes o filos puedan arrancar virutas se necesitan dos movimientos simultáneos (fig. 2.3).

1. Rotación de la broca. El movimiento de giro se llama también movimiento de corte o movimiento principal.

En casos especiales el movimiento de corte, o movimiento principal, lo realiza la pieza a mecanizar, que está animada por un movimiento de rotación, como ocurre, por ejemplo, cuando se hacen taladros en el torno.

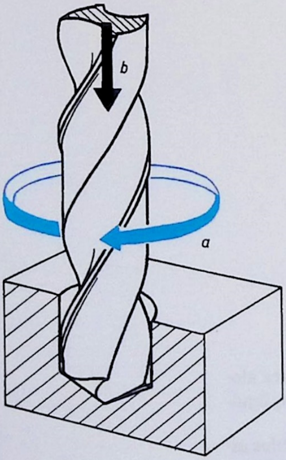


Figura 2.3 Movimientos al perforar con la máquina de taladrar. *a*) Movimiento de corte o principal; *b*) movimiento de avance.

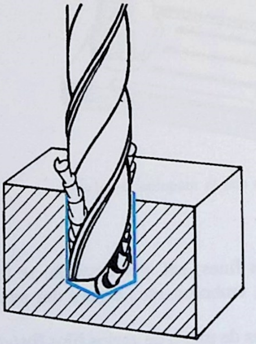


Figura 2.4 Ejecución de taladros en material macizo.

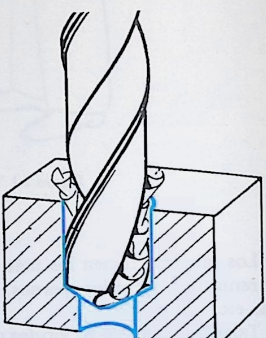


Figura 2.5 Terminación, por segunda pasada, de un agujero previamente practicado.

El movimiento principal se mide por la velocidad de corte en m/min. Ésta es máxima en la periferia de la broca y disminuye hacia el eje de la misma.

2. El avance de la broca es rectilíneo contra la pieza. Este movimiento determina el espesor de la viruta.

El avance puede también tener lugar por movimiento de la pieza contra la broca animada de movimiento de rotación; esto ocurre, por ejemplo, en algunas máquinas de mesa pequeñas por elevación de la mesa.

El movimiento de avance se mide en mm/rev.

Con una broca de dos filos, el espesor de viruta es igual a la mitad del avance.

Mediante la combinación de los movimientos de corte y de avance los filos de corte de la broca siguen un camino helicoidal, lo que da lugar a la formación de virutas continuas.

En los trabajos de taladrado cabe distinguir entre la ejecución de taladros en material macizo (o sea, en sitio no previamente perforado) y la segunda pasada a un agujero practicado con anterioridad (figs. 2.4 y 2.5).

Para dar el segundo taladro a un agujero se emplea en la máquina de taladrar, además de la broca espiral, predominantemente el penetrador espiral provisto de tres o cuatro filos.

Tipos de máquinas taladradoras y constitución de las mismas

Los movimientos de corte y de avance los recibe la broca por medio de la máquina de taladrar. La distinta forma que puede tener la pieza a mecanizar, así como la magnitud, la calidad y el número de los taladros a ejecutar, han conducido a la creación de distintos tipos de máquinas de taladrar. Además de los trabajos normales de taladrado pueden realizarse, en la mayoría de las máquinas de taladrar, trabajos de avellanado, de escariado y de roscado.

Según la posición del husillo se distingue entre taladradoras verticales y taladradoras horizontales.

Taladradora vertical

Existen diversos tipos de máquinas de taladrar con el husillo dispuesto en posición vertical.

Taladradora de columna (figs. 2.6 y 2.7)

En el soporte, en forma de columna, de la taladradora van dispuestos el husillo de taladrar, los mecanismos para el movimiento principal y de avance, y la mesa de taladrar.

En **el husillo** (también llamado por esta razón husillo portaútil) va dispuesta la broca. Ese husillo va alojado en el casquillo de guía (pínola) del husillo. En su parte inferior va provisto de un agujero cónico en el que entra el mango del útil.

El mecanismo del movimiento principal transmite al husillo el movimiento de giro procedente de un motor eléctrico o de una transmisión. Con objeto de poder utilizar distintas velocidades de rotación va dispuesto ese mecanismo en forma de poleas escalonadas o de engranajes. Hay también máquinas cuyo accionamiento es regulable sin escalonamiento.

El mecanismo para el avance da al husillo el movimiento de avance rectilíneo.

En el casquillo guía del husillo va dispuesta una cremallera (fig. 2.8), en la cual engrana una rueda dentada que recibe su giro por medio de una palanca de mano. El casquillo puede moverse en un soporte hacia arriba y hacia abajo. Con objeto de que el husillo de taladrar pueda seguir este movimiento, va sujeto arriba por dos tuercas de ani-

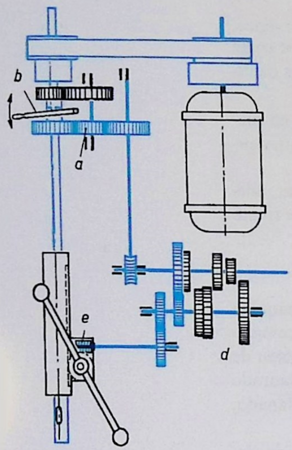


Figura 2.6 Movimiento principal y de avance en una máquina de taladrar. *a*) Engranajes para el movimiento principal; *b*) palanca de embrague para el movimiento principal; *c*) derivación para el movimiento de avance por medio de rueda helicoidal y tornillo sin fin; *d*) sistema de engranajes desplazables para variar el avance; *e*) rueda helicoidal y tornillo sin fin para producir el avance.

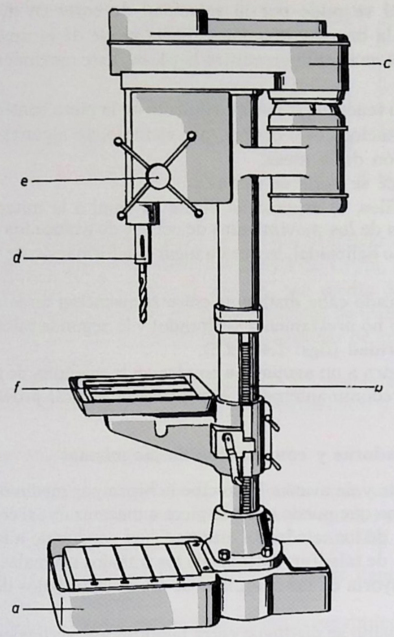


Figura 2.7 Elementos principales de una taladradora de columna. *a*) Placa de asiento; *b*) soporte (columna); *c*) mecanismo para el movimiento principal; *d*) husillo; *e*) mecanismo para el movimiento de avance; *f*) mesa de taladrar.

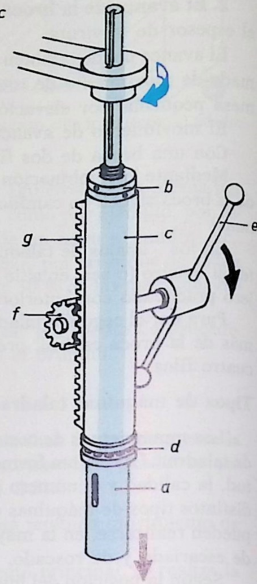


Figura 2.8 Guía del husillo de taladrar: *a*) Husillo; *b*) tuerca de anillo; *c*) casquillo; *d*) rodamientos de bolas; *e*) palanca; *f*) rueda dentada; *g*) cremallera.

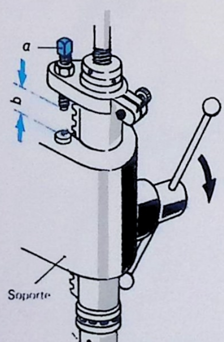


Figura 2.9 Limitación del avance. *a*) Tornillo de tope; *b*) avance.

llo y abajo por la brida de la cabeza del husillo. Con objeto de disminuir los rozamientos va dispuesto un cojinete de rodamientos entre la brida y el casquillo. La parte superior del husillo de taladrar puede desplazarse en la polea para correa o en la rueda dentada que arrastran al husillo mediante una ranura longitudinal y una chaveta fija que se desliza a lo largo de ella. Para conseguir el movimiento vertical del husillo se hace uso en las máquinas grandes de un tornillo sin fin y una rueda helicoidal. El avance automático es producido frecuentemente por un trinquete de acoplamiento o una rueda de trinquete que obtiene su movimiento del mecanismo del movimiento principal. Mediante accionamiento de palancas se pueden obtener distintos avances (fig. 2.7).

Con objeto de taladrar un agujero a una determinada profundidad se utiliza un tope (fig. 2.9). A veces se prevé un desembrague automático que actúa sobre el avance cuando se ha obtenido una determinada profundidad de agujero.

La mesa de taladrar soporta la pieza a taladrar. La pieza se sujeta por medio de ranuras de fijación. Una canal de captación recoge el líquido utilizado para refrigerar. Mediante una manivela que actúa sobre un mecanismo de rueda dentada y cremallera se mueve la mesa hacia arriba y hacia abajo. Con auxilio de una palanca puede dejarse la mesa firmemente sujeta a la columna.

La máquina taladradora del tipo de columna se emplea generalmente para taladros hasta de 25 mm de diámetro. Tiene el inconveniente de que para practicar taladros profundos el husillo portaútil sobresale mucho de su soporte, lo que puede dar lugar a que la broca se desvíe fácilmente.

La taladradora vertical pertenece al tipo de las máquinas taladradoras *fijas* por tener su sitio fijo en el taller. Además de éstas existen las taladradoras *portátiles*, que son predominantemente taladradoras de mano de distintos modelos.

Los **berbiquíes** son máquinas de taladrar accionadas a mano que se prestan para agujeros pequeños.

La sencilla **máquina taladradora de mano** llamada también **taladro de pecho** recibe el movimiento de giro accionando una manivela.

Taladradoras eléctricas de mano, taladradoras de aire a presión, de mano. Para accionamiento de estas máquinas se emplean la corriente eléctrica o el aire a presión, respectivamente. En la taladradora eléctrica de mano, los cables y enchufes en malas condiciones constituyen una importante fuente de peligros de accidente.

La chicharra o **carraca** se emplea predominantemente en trabajos de montaje para taladrar agujeros en sitios difícilmente accesibles. La broca obtiene mediante el accionamiento de una manivela un movimiento de rotación intermitente. La operación de taladrado va con esta máquina unida a un notable gasto de tiempo.

Taladradora de sobremesa (fig. 2.10)

Tiene su sitio generalmente sobre el banco de trabajo y se presta para la ejecución de agujeros hasta de unos 10 mm de diámetro.

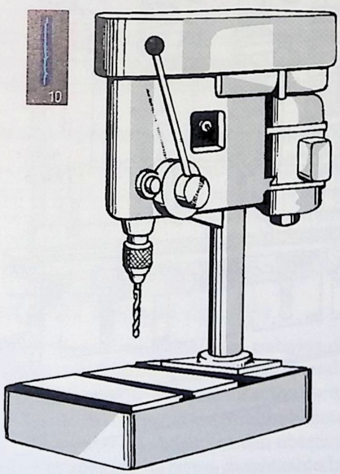


Figura 2.10 Taladradora de sobremesa.

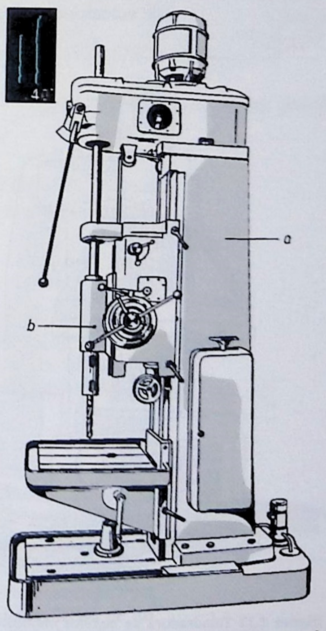


Figura 2.11 Taladradora de columna. *a*) Columna; *b*) carro de taladrar.

Máquina de taladrar de columna (fig. 2.11)

El bastidor, cuerpo o columna de la máquina es muy rígido y por esta razón resulta adecuada la máquina para taladrar grandes agujeros. El avance viene realizado por el carro o cabezal portaútil que es guiado a lo largo de la columna. Con esto resulta que el cojinete principal del husillo se encuentra siempre en la proximidad del punto en que se realiza el trabajo, es decir, que el husillo va bien guiado, incluso cuando se ejecutan agujeros profundos.

Taladradora de husillos múltiples (fig. 2.12)

El cabezal de taladrar va provisto de varios husillos accionados por el husillo principal. En *una* sola carrera de trabajo se pueden taladrar varios agujeros. Estas máquinas se utilizan principalmente en las fabricaciones en serie.

Taladradora en fila (batería de taladradoras) (fig. 2.13)

En una pieza puede haber necesidad de realizar varios procesos de trabajo, por ejemplo, taladrado, avellanado y escariado. La máquina se emplea para trabajos en serie.

Radial (fig. 2.14)

El carro de taladrar es soportado por el brazo y puede desplazarse sobre éste en forma radial. El brazo puede girar alrededor de la columna de la máquina y moverse verticalmente. El husillo es accionado en las máquinas modernas por medio de un motor directamente acoplado sobre el carro de taladrar. Disponiendo de una extensa gama de velocidades de rotación se pueden taladrar agujeros grandes y pequeños. La pieza se

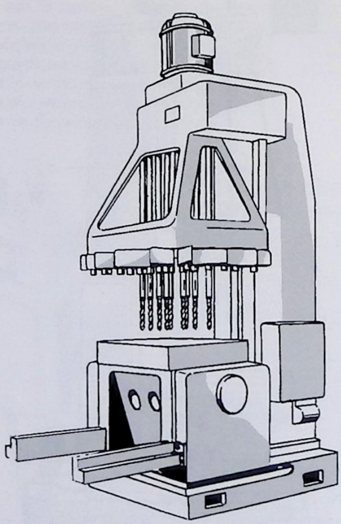


Figura 2.12 Taladradora de husillos múltiples.

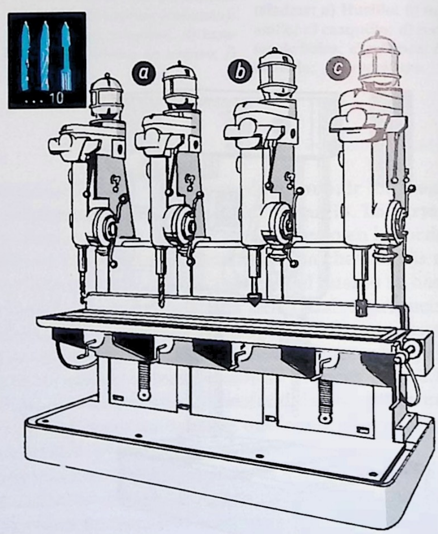


Figura 2.13 Taladradora en fila. *a*) Taladrado; *b*) avellanado; *c*) escariado.

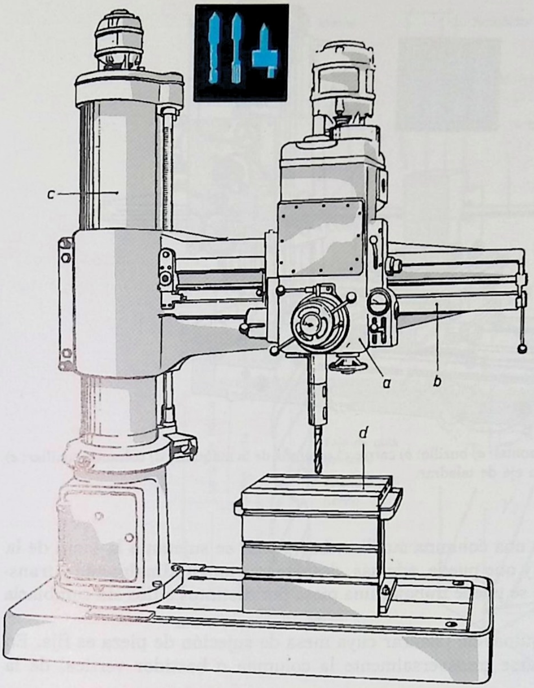


Figura 2.14 Taladradora radial. *a*) Carro de taladrar; *b*) brazo; *c*) columna; *d*) mesa de taladrar.

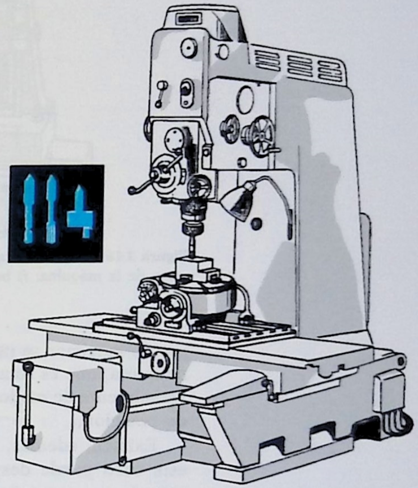


Figura 2.15 Máquina de taladrar plantillas.

fija a la mesa de taladrar que va provista de ranuras de sujeción. En virtud de las muchas posibilidades de movimiento puede taladrarse en los sitios más diversos sin necesidad de cambiar la posición de la pieza.

Máquina punteadora (o de taladrar plantillas) (fig. 2.15)

Son máquinas de precisión. Con ellas se ejecutan taladros con distancias muy exactas entre centros. La pieza se sujeta a la mesa de taladrar, que va dispuesta en forma de mesa cruzada, movible longitudinal y transversalmente por medio de husillos. Con ayuda de dispositivos de medida pueden establecerse distancias entre agujeros con precisión hasta de 0,001 mm.

Mandrinadora universal (fig. 2.16)

Se emplea esta máquina para trabajos de taladrado, fresado y torneado en piezas complicadas. El husillo, colocado horizontalmente, sirve para disponer en él las herramientas de taladrar y de fresar. Recibe su movimiento de un motor directamente acoplado y puede desplazarse longitudinalmente. Por medio de un sistema de engranajes, alojado en el carro o cabeza, pueden obtenerse distintos números de revoluciones y de avances. El carro portaútil es desplazable hacia arriba y hacia abajo a lo largo de un bastidor o columna vertical de la máquina. Para servir de apoyo a las barras o ejes lar-

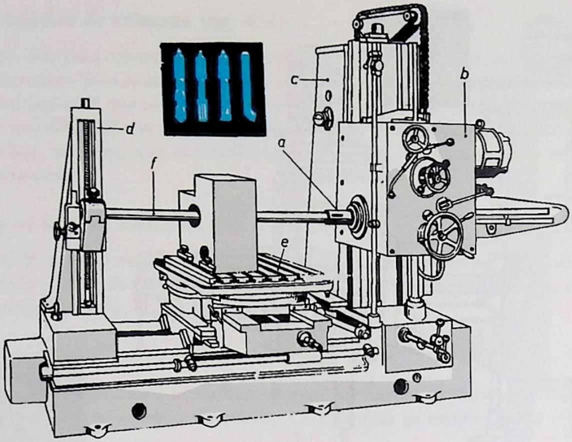


Figura 2.16 Mandrinadora horizontal: *a*) husillo; *b*) carro; *c*) columna de la máquina; *d*) columna auxiliar; *e*) mesa de la máquina; *f*) barra o eje de taladrar.

gos de barrenar se utiliza una columna auxiliar. Las piezas se sujetan a la mesa de la máquina, que es rotativa y que puede, además, desplazarse longitudinalmente y transversalmente de modo que se puede trabajar una pieza por distintos sitios sin cambiarla de posición.

Existen, además, máquinas de taladrar cuya mesa de sujeción de pieza es fija. En este caso puede desplazarse transversalmente la columna o bastidor vertical de la máquina.

Con objeto de que en el servicio de la máquina no se pierda mucho tiempo, se han dispuesto todas las palancas de mando en el carro de taladrar.

Para el mando a distancia de la marcha de los movimientos las mandrinadoras llevan frecuentemente una botonera en la que van dispuestos los pulsadores necesarios para accionar los motores y acoplamientos electromagnéticos necesarios.

La mandrinadora universal es una de las máquinas de más variadas aplicaciones.

Herramientas para taladrar

Para taladrar se emplea preferentemente la broca espiral. Pero además existen también para diversos fines un gran número de brocas especiales.

El material adecuado para las brocas es el acero rápido. El mango (soldado a la parte cortante) puede ser de acero (St 70). Hay también brocas con filos de metal duro.

La broca espiral*

Forma de la broca (fig. 2.17). Las brocas espirales más usuales están normalizadas. El vástago sirve para sujeción en la máquina. Este vástago o mango puede ser cilíndrico o cónico. La parte cortante obtiene su forma fundamental mediante dos ranuras helicoidales.

* Por razón de las ranuras helicoidales deberían llamarse estas brocas, brocas helicoidales y no espirales.

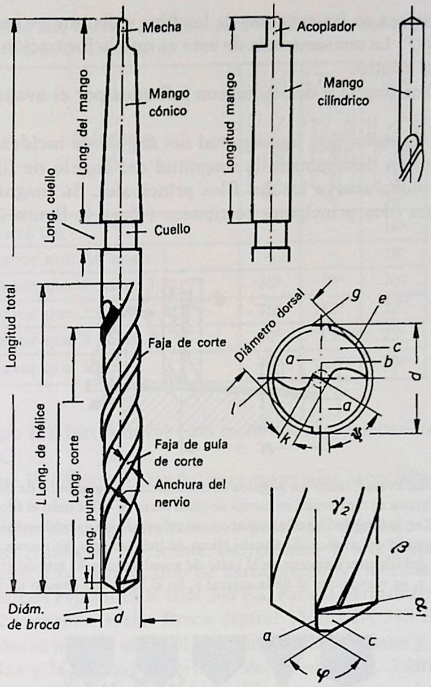


Figura 2.17 Designaciones en la broca espiral, según DIN. a_1, ángulo de incidencia en las esquinas del filo; γ_2, ángulo de la espiral en las esquinas del filo; β, ángulo de filo; φ (se pronuncia: fi) ángulo de la punta; ψ (se pronuncia: psi) ángulo de los filos transversales; *a*) filo principal o labio; *b*) filo transversal; *c*) superficie de incidencia, o de afilado, del labio; *d*) diámetro de la broca; *e*) dorso; *g*) esquina del filo; *k* espesor del núcleo; *l*) canto o arista dorsal.

La sección de material que queda entre las ranuras se llama núcleo. Los filos principales se forman mediante esmerilado de la punta. Entre las dos superficies de incidencia se halla el filo transversal que forma, con ambos filos principales, el ángulo de los filos transversales. El filo transversal no corta, sino que rasca únicamente. El filo empuja el material del centro del agujero delante de los filos principales y consume con ello aproximadamente el 40 % del esfuerzo de avance. Los biseles dan a la broca la necesaria guía e impiden que roce con su parte dorsal en el agujero taladrado. Con objeto de que al taladrar agujeros profundos no resulten deteriorados los biseles, se hace disminuir el diámetro de la broca hacia el mango como unos 0,05 mm por cada 100 mm de longitud.

Geometría de los filos. Lo mismo que con todas las herramientas para trabajar por arranque de viruta, se dan también en la broca espiral los ángulos de incidencia, de ataque y de filo.

Ángulo de incidencia. Con objeto de que puedan penetrar en el material los filos principales, las superficies de incidencia caen en forma curvada, hacia abajo, partiendo de los filos principales. El ángulo de incidencia, medido en las esquinas del filo, tiene que tener una magnitud de 5 a 8°.

Ángulo de ataque. Este ángulo está formado por el ángulo de las ranuras espirales.

Tiene su medida máxima en las esquinas de los filos y disminuye hacia el centro de la broca hasta casi los 0°. La consecuencia de esto es que la formación de virutas resulta entorpecida hacia el centro.

Los ángulos de incidencia y de ataque son influidos por el avance en su magnitud eficaz (fig. 2.18)

Ángulo de filo o de cuña. Con la magnitud del ángulo de incidencia y de la espiral queda al mismo tiempo determinada la magnitud del ángulo de filo.

El *ángulo en la punta* abarca los dos filos principales. Su magnitud se elige de tal modo que se formen filos principales rectilíneos (véase la figura 2.20).

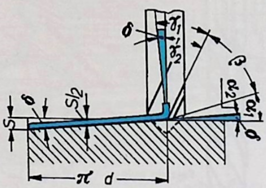


Figura 2.18 Influencia del avance sobre los ángulos de incidencia y de ataque, o de desprendimiento de la viruta: el perímetro de la broca se representa en forma de línea recta ($\pi \cdot d$). Como el filo penetra en el material, durante una revolución, en la longitud igual al avance *s*, su recorrido no es horizontal sino inclinado en el valor del ángulo de inclinación del avance. El ángulo eficaz de incidencia α_2 es menor que el de incidencia α_1 medido en las esquinas del filo precisamente en el valor de aquel ángulo. El ángulo eficaz de ataque o de desprendimiento de viruta γ_1 es mayor que el de la espiral γ_2 en el valor del ángulo de inclinación del avance.

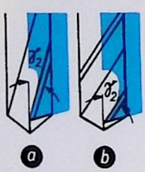


Figura 2.19 El ángulo de ataque, o de desprendimiento de viruta, corresponde aproximadamente al ángulo de la espiral: *a*) para materiales duros; *b*) para materiales blandos.

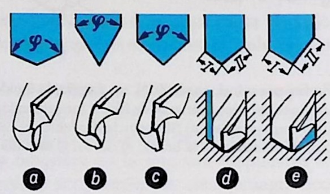


Figura 2.20 Afilado del ángulo de la punta. *a*) Filos principales arqueados hacia atrás: φ demasiado grande. *b*) Filos principales arqueados hacia adelante: φ demasiado pequeño. *c*) Filos principales rectos: φ correcto. *d*) Filos de longitud desigual: el taladro resulta demasiado grande. *e*) Ángulos de la punta desiguales: el filo se embota rápidamente, porque sólo trabaja un filo.

Elección de la broca. En la elección de la broca para la ejecución de un determinado trabajo de taladrado, hay que tener en cuenta lo siguiente: tamaño del agujero a taladrar, material en que se trabaja y afilado de la broca.

El *tamaño del agujero a taladrar* es decisivo para fijar el diámetro de la broca. Toda broca da lugar a un taladro de diámetro algo mayor al de la broca porque las fajas arrancan algo de material de las paredes del agujero. El *material de la pieza a taladrar* determina el ángulo de ataque o de desprendimiento de la viruta y el de la punta (tablas 2.1 y 2.2).

A los distintos materiales que se trabajan les corresponden determinados tipos de herramientas (tablas 2.1 y 2.2).

Según DIN se distinguen los siguientes tipos:

Herramientas de tipo N (Normal) para aceros normales de construcción de máquinas, fundición gris blanda, metales no férreos de dureza media.

Tabla 2.1. Valores prácticos para ángulo de la espiral γ_2 (extracto de DIN 1414)

Diámetros d	Tipo W 	Tipo H 	Tipo N 
Hasta 0,6	–	–	16°
Mayor que 0,6 hasta 1	–	–	18°
Mayor que 1 hasta 3,2	35°	10°	20°
Mayor que 3,2 hasta 5	35°	12°	22°
Mayor que 5 hasta 10	40°	13°	25°
Mayor que 10	40°	13°	30°

Herramientas tipo H (Hart ≙ duro) para materiales especialmente duros y materiales tenaces y duros.

Herramientas tipo W (Weich ≙ blando) para materiales especialmente blandos y tenaces.

Las brocas espirales llevan generalmente, a partir del diámetro 2 mm, la siguiente inscripción: Diámetro, material, fabricante. Designación de una broca espiral con mango cónico de diámetro $d = 15$ mm, tipo de herramienta N (fabricación corriente) de acero rápido (SS): Broca espiral 15 N DIN 345 SS. Para la herramienta tipo H la designación para la broca anterior sería: Broca espiral 15 H DIN 345 SS.

El *afilado de la broca* influye sobre el rendimiento de la misma y, además, sobre la exactitud de medidas y la calidad superficial del taladro (fig. 2.20).

Los filos principales tienen que estar bien afilados y ser rectos. Los filos arqueados hacia adelante o hacia atrás se desgastan rápidamente. Cuando los filos principales tie-

Tabla 2.2 Normas para el empleo de los tipos de herramienta N, H, W (extracto de DIN 1414).

Material a trabajar	Tipo de herramienta	Ángulo de la punta
Acero, acero moldeado: 40 a 70 kg/mm² 70 a 120 kg/mm²	N N	118° 130°
Fundición gris, fundición maleable	N	118°
Latón: hasta Ms 58 desde Ms 60	H N	118°
Cobre hasta Ø broca = 30 mm Ø broca más de 30 mm	W N	140°
Aleación de aluminio: de viruta larga de viruta corta	W N	140°
Mat. moldeados a presión: espesores $s \leqslant d$ espesores $s \geqslant d$	H W	80°
Materias prensadas por capas, goma dura	H	80°
Mármol, pizarra, carbón	H	80°

nen longitudes desiguales, el taladro resulta demasiado grande; cuando no están simétricamente dispuestos respecto al eje del taladro, no trabaja sino un filo que entonces se embota prematuramente. Para verificar el ángulo de la punta se utiliza una galga de afilado. Los filos embotados originan en el agujero una pared rugosa. Los ángulos de incidencia tienen la longitud correcta cuando el ángulo del filo transversal vale 55°. Con objeto de aminorar la acción perjudicial del filo transversal, se corta éste mediante esmerilado en las brocas grandes (fig. 2.24). El esmerilado se hace innecesario si se taladran previamente agujeros mayores.

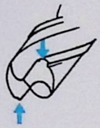


Figura 2.21 Broca desafilada.

Ventajas de la broca espiral. En el reafilado se mantienen hasta el final el diámetro y el ángulo de la espiral (ángulo de ataque o de expulsión de la viruta). Las virutas son expulsadas automáticamente del agujero taladrado por medio de las ranuras helicoidales.

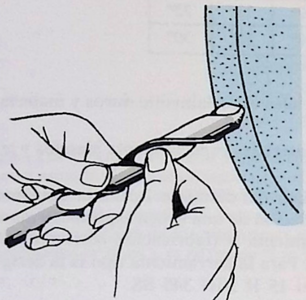


Figura 2.22 Evitar en lo posible el afilado a mano.

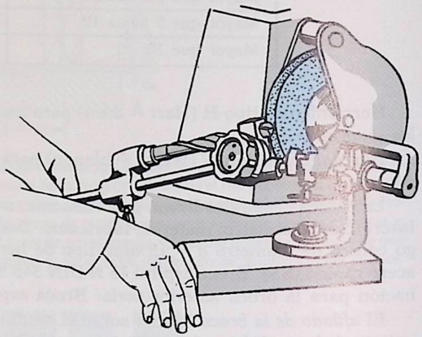


Figura 2.23 Afilado con montaje.

Cuidados de las brocas. El desgaste de una broca se reconoce primeramente por el redondeamiento de los vértices exteriores de los filos principales (fig. 2.21). Si se sigue trabajando con una broca embotada, se calienta fuertemente por el rozamiento y pierde su dureza, produciéndose, como consecuencia, la destrucción completa del filo. Hay que tener cuidado, por lo tanto, en proceder al reafilado a su debido tiempo. Afilando la broca a mano (fig. 2.22) pueden producirse defectos como, por ejemplo, el de resultar el ángulo en la punta demasiado grande o demasiado pequeño, o los filos de diferente longitud, o el ángulo de incidencia también demasiado grande o demasiado pequeño. El afilado debe, pues, ser realizado en una máquina de afilar herramientas (fig. 2.23). Los filos se refrigeran con objeto de que no se calienten durante el reafilado.



Figura 2.24 Acortamiento del filo transversal mediante afilado.

Para realizar taladros en la fundición gris resulta ventajoso el afilado de una faja: esto rompe la viruta y descarga los vértices de los filos (fig. 2.25) resultando para estos una mayor duración.

Después de ser usada hay que limpiar la broca. Tanto el mango como los filos deben ser protegidos contra deterioros. Es recomendable guardar las brocas convenientemente ordenadas por diámetros en cajas de madera, con lo cual se evita la útil pérdida de tiempo que supone la búsqueda de la broca adecuada.

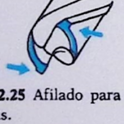


Figura 2.25 Afilado para fundición gris.

Herramientas especiales para taladrar

La broca para agujeros profundos (broca para barrenar cañones) (fig. 2.26) es adecuada para la ejecución de taladros profundos y exactos. No trabaja sino por un solo filo.

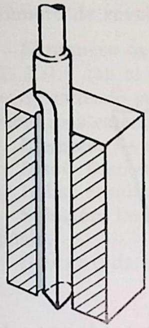


Figura 2.26 Broca para agujeros profundos.

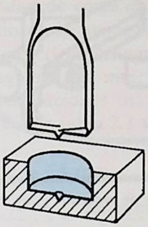


Figura 2.27 Broca de centrar.

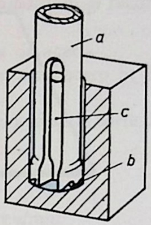


Figura 2.28 Taladrado con la broca hueca. *a*) Broca hueca; *b*) filos; *c*) núcleo.

La broca de centrar (fig. 2.27) se emplea cuando los agujeros han de tener un fondo plano. Llevan una punta que sirve de guía.*

La broca hueca[†] (fig. 2.28) recorta un núcleo en el material Se emplea predominantemente en máquinas especiales de taladrar.

La cuchilla de recortar (fig. 2.31) sirve, como su nombre indica, para recortar agujeros.[‖]

Con la **cuchilla de cilindrar** (fig. 2.32) pueden practicarse agujeros grandes.

Las barras portaherramientas provistas de cuchillas postizas se utilizan también para ejecutar agujeros. Para trabajar en máquinas horizontales de taladrar se emplean barras de taladrar al aire y también otras guiadas (figs. 2.29 y 2.30). Estas barras van templadas y rectificadas con objeto que en cualquier sitio puedan deslizarse dentro de guías.

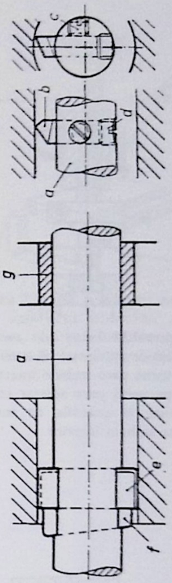


Figura 2.29 Barra portaherramientas guiada, para ejecución de agujeros largos. *a*) Barra, guiada; *b*) cuchilla postiza; *c*) tornillo de sujeción; *d*) tornillo de ajuste; *e*) cuchilla de dos filos; *f*) cuña de fijación; *g*) guía.

Sujeción de la broca

Al sujetar la broca, lo más importante es conseguir que ésta gire «redondo», o sea concéntricamente, pues en caso contrario el útil se quiebra con facilidad.

Las brocas provistas de mango cónico se introducen en la cavidad cónica del husillo (fig. 2.33). La mecha se aloja en el agujero largo del husillo. Las diferencias de tamaño entre el mango cónico y la citada cavidad cónica del husillo portaútil se compensan mediante casquillos cónicos normalizados. Durante el trabajo, la broca es arrastrada en virtud del rozamiento con la superficie cónica interior del casquillo o del husillo en que se ha introducido a presión. Pero esto no resulta posible nada más que cuando el cono exterior y el interior están exentos de deterioros o de materias extrañas. La existencia de cuerpos extraños entre las superficies cónicas tiene como consecuencia el giro excéntrico de la broca, por lo cual antes de introducir la broca en el alojamiento correspondiente han de ser limpiados cuidadosamente ambos conos. La mecha del mango de la broca no tiene por objeto actuar como elemento de arrastre, sino que se utiliza para

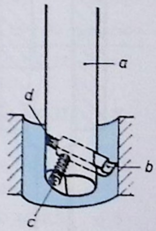


Figura 2.30 Barra o eje de taladrar, al aire, para ejecución de taladros cortos. *a*) Barra de taladrar; *b*) cuchilla de torno; *c*) tornillo de sujeción; *d*) tornillo de ajuste.

* *N. del T.:* Suele llamarse también broca de centrar a una pequeña broca usada para abrir orificios en los extremos de las barras que van a ser montadas entre puntos en un torno. Véase página 62.

† *N. del T.:* Algunos llaman también a este útil *broca para núcleos*.

‖ *N. del T.:* A esta cuchilla de taladrar que lleva un brazo radial con una cuchilla, desplazable con objeto de poderla ajustar para abrir taladros de diferentes diámetros, la llaman algunos broca de expansión y otros cuchilla de calar o de plantillas.

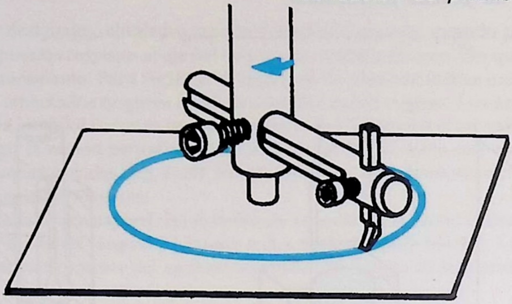


Figura 2.31 Cuchilla de recortar.

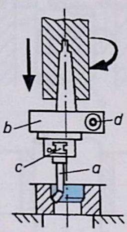


Figura 2.32 Taladrado con cuchilla de cilindrar. *a*) cuchilla de torno para trabajo interior; *b*) portaútil para sujetar (*c*) y ajustar la cuchilla de torno para trabajo interior.

soltar la broca por medio de un expulsor o sacabrocas (figura 2.34). Antes de extraer la broca, disponer debajo de ella un trozo de madera con objeto de que al caer no se deteriore su punta.

Para sujetar brocas provistas de mango cilíndrico se utilizan portabrocas con dos o tres mordazas de sujeción (fig. 2.35). Hay que prestar atención a que la broca llegue al fondo del portabrocas con objeto de que no resbale hacia adentro durante el trabajo. Los portabrocas tienen frecuentemente, en el fondo, dos superficies a las cuales se adaptan las del extremo del mango de la broca, consiguiéndose de este modo un arrastre más seguro.

Los portabrocas de cambio rápido (figura 2.35) permiten la sujeción y la extracción de los útiles sin necesidad de tener que parar la máquina. Se utilizan especialmente en los trabajos en serie.

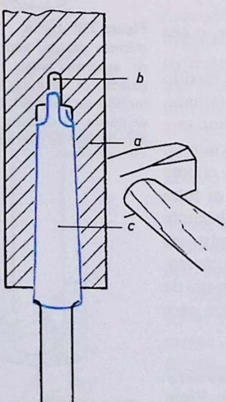


Figura 2.33 Sujeción de brocas con mango cónico. *a*) Extremo del husillo de taladrar; *b*) orificio transversal; *c*) mango de la broca.

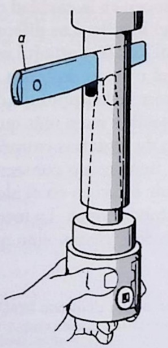


Figura 2.34 Modo de extraer la broca con el expulsor o sacabrocas. *a*) Expulsor (redondeamiento arriba).

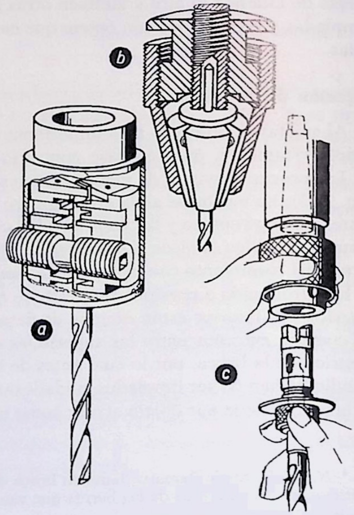


Figura 2.35 Portabrocas. *a*) De dos mordazas; *b*) de tres mordazas; *c*) de cambio rápido.

Número de revoluciones, avance y refrigeración al taladrar

El número de revoluciones de la broca está relacionado con la velocidad de corte (T. 2.3) y con el diámetro de la broca.

Se entiende por velocidad de corte en la operación de taladrado, el recorrido del punto más exterior del filo de la broca en m/min.

Ejemplo: Se trata de practicar un agujero en una llanta de acero.

Datos: Diámetro del agujero, 14 mm; material de la llanta de acero St 37.

Hallar el número de revoluciones (n) de la broca.

Solución: De acuerdo con la tabla 2.3 se ha elegido una velocidad de corte de $v = 22$ m/min.

Diámetro de la broca $d = 14$ mm.

$$n = \frac{v \cdot 1000}{\pi \cdot d} = \frac{22 \text{ m/min} \cdot 1000}{3{,}14 \cdot 14 \text{ mm}} \approx 501 \text{ rev/min.}$$

Supongamos que en la taladradora puedan establecerse los siguientes números de revoluciones: 47,5 — 75 — 118 — 190 — 300 — 475 — 750 — 1180 por minuto.

En este caso habría que escoger un número de revoluciones igual a 475 por minuto.

Frecuentemente traen las taladradoras unos cuadros en los cuales puede leerse para cada velocidad de corte y para cada diámetro de broca el número de revoluciones que corresponde (véase figura 2.60, pág. 108).

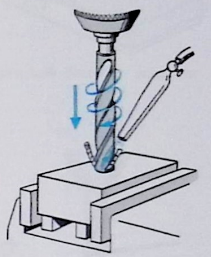


Figura 2.36 El taladrado exige una correcta elección del número de revoluciones, del avance y de la refrigeración.

El avance se expresa en mm por revolución de la broca, diciendo, por ejemplo, 0,2 mm/rev. De esta magnitud dependen el espesor de la viruta, la fuerza de avance necesaria y la calidad de la superficie de las paredes del taladro realizado. El avance admisible se determina teniendo en cuenta el material a taladrar y el diámetro de la broca que se utiliza (T. 2.3).

Cuando se taladran pequeños agujeros, el avance se regula, generalmente, a mano mediante accionamiento de una palanca de mano. En este caso hay que trabajar con tacto, ya que las brocas pequeñas se quiebran con mucha facilidad.

Refrigeración. La broca puede perder su dureza y embotarse rápidamente en virtud del calor que se desarrolla durante el trabajo de taladrado. Por medio de una abundante aportación de líquido refrigerante adecuado (T. 2.3) se elimina el calor, se eleva la capacidad de corte de la broca y se mejora la calidad superficial de las paredes del agujero.

Tabla 2.3 Velocidad de corte (v), avance (s) y refrigeración para brocas de acero SS

Material		Diámetro de la broca						Refri-	Material		Diámetro de la broca						Refri-
		5	10	15	20	25	30	geración			5	10	15	20	25	30	geración
Acero	s	0,1	0,18	0,25	0,28	0,31	0,34	T	Latón	s	0,1	0,15	0,22	0,27	0,3	0,32	T o C
St 37-3	v	15	18	22	26	29	32		hasta 40 kg/mm²	v	60 ... 70 m/min.						
Acero	s	0,1	0,18	0,25	0,28	0,31	0,35	o	Bronce	s	0,1	0,15	0,22	0,27	0,3	0,32	o S
St 50-1	v	13	16	20	23	26	28	C	hasta 30 kg/mm²	v	30 ... 40 m/min.						
Acero St 70-2	s	0,07	0,13	0,16	0,19	0,21	0,23		Aluminio	s	0,05	0,12	0,2	0,3	0,35	0,4	T o C
	v	12	14	16	18	21	23		puro	v	80 ... 120 m/min.						
Fundición	s	0,15	0,24	0,3	0,32	0,35	0,38	S	Aleaciones de	s	0,12	0,2	0,3	0,4	0,46	0,5	o S
GG 10	v	24	28	32	34	37	39		aluminio	v	100 ... 150 m/min.						
Fundición	s	0,15	0,24	0,3	0,33	0,35	0,38	o	Aleaciones de	s	0,15	0,2	0,3	0,38	0,4	0,45	S
GG 20	v	16	18	21	24	26	27	T	magnesio	v	200 ... 250 m/min.						

T = taladrina C = aceite de corte y de refrigeración S = en seco

EJECUCIÓN DE TALADROS SENCILLOS CON LA TALADRADORA DE COLUMNA

A los agujeros que han de servir para alojar roblones y tornillos no suele, por lo general, exigírseles condiciones especiales en cuanto a exactitud de dimensiones y calidad superficial. Los tamaños de los agujeros pasantes para tornillos están normalizados por DIN 69.

Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado: Se trata de dotar a la mordaza o brida de sujeción de la figura 2.37 de un agujero pasante de 16 mm de diámetro tal como allí se indica (para una tuerca hexagonal M 14). En la figura no se da indicación alguna para la calidad superficial de las paredes del agujero.

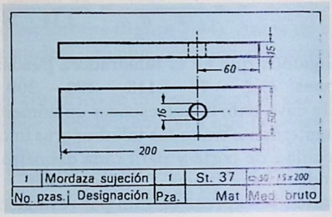


Figura 2.37 Plano de taller.

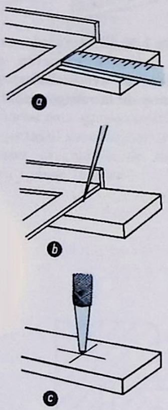


Figura 2.38 Trazado y marcado con granete en la mordaza.
a) Medición;
b) trazado;
c) graneteado.

Según las normas correspondientes podemos enunciar la siguiente ley fundamental: los agujeros que, de acuerdo con el tipo de fabricación empleado, sean taladrados en material macizo o punzonados u obtenidos de fundición, no llevarán ningún signo de calidad superficial. Si los agujeros así conseguidos han de ser trabajados posteriormente, por ejemplo mediante afinado, escariado o rectificado, habrá que hacer constar los signos convencionales o las indicaciones escritas correspondientes.

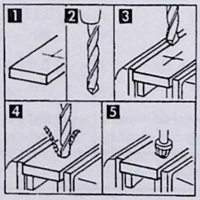
Trazado de los taladros

La broca ataca primeramente en el centro del agujero al empezar a taladrar y por esta razón se indica siempre la posición de un taladro por medio de su centro que se señala valiéndonos de dos ejes cuya intersección se marca con un granete (fig. 2.38).

Para trabajos de precisión es necesario señalar la circunferencia del taladro y la de comprobación o referencia (véase pág. 110). En este caso que nos ocupa no se señalan para la mordaza en cuestión condiciones especiales de exactitud en cuanto al tamaño y posición del agujero que se ha de practicar, por cuya razón se desiste del trazado de las circunferencias citadas.

Cuando se trata de un gran número de piezas iguales que hayan de proveerse de los mismos taladros, se utilizan plantillas para el trazado (figura 2.39).

Plan de trabajo



	Fases de trabajo	Herramientas
1	Trazado	Aguja de trazador, escuadra, compás, granete, martillo
2	Sujeción de la broca	Broca helicoidal Ø 16
3	Sujeción de la pieza	Dispositivo de sujeción en la máquina
4	Taladrado del agujero	
5	Desbarbado	Avellanador
Instrumentos de medida: Regla de acero, pie de rey		

Taladrado del agujero

Para taladrar el agujero se escoge una broca helicoidal de acero rápido adecuada de 16 mm de diámetro. Para realizar el trabajo propuesto se presta bien una taladradora de columna de tamaño mediano. Para una velocidad de corte de 22 m/min (T. 2.3) es necesario un número de revoluciones igual a 475 por minuto (fig. 2.60). El avance es de 0,25 mm/rev. Hay que prestar una atención especial, tanto a la sujeción de la broca como a la de la pieza.

Medición del taladro

En el taladro realizado deberán verificarse el tamaño y la posición. La medición del *tamaño* del taladro puede realizarse con las puntas dispuestas para esta clase de operaciones en el calibre o con las patas del mismo, convenientemente desplazadas entre sí (fig. 2.41). La medición de la posición del agujero se mide tomando como base la arista a partir de la cual se ha anotado la cota correspondiente en el dibujo (aristas de referencia). La posición del agujero puede medirse de diferentes modos (fig. 2.42). La regla de acero es suficiente en los casos sencillos. Cuando en las piezas sencillas no se haya indicado en el dibujo tolerancia alguna, se guiará uno por las diferencias de medidas admisibles en el taller para las distancias entre centros de agujeros.

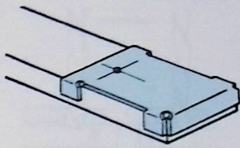


Figura 2.39 Plantilla para trazar.

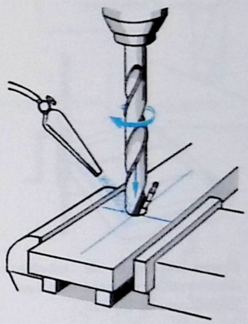


Figura 2.40 Taladrado de la mordaza de sujeción.

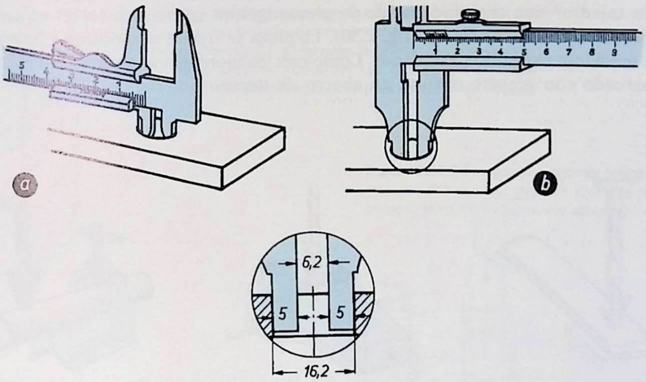


Figura 2.41 Medición del diámetro del agujero. *a*) Medición con las puntas de medir interiores del calibre; lectura = diámetro del taladro; *b*) medición mediante desplazamiento de las patas hacia afuera; a la medida leída hay que añadirle el grueso de las patas. Ejemplo: lectura 6,2 mm; diámetro del taladro = 6,2 + 2 · 5 = 16,2 mm.

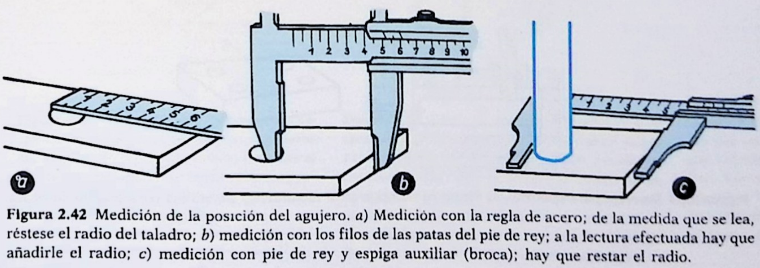


Figura 2.42 Medición de la posición del agujero. *a*) Medición con la regla de acero; de la medida que se lea, réstese el radio del taladro; *b*) medición con los filos de las patas del pie de rey; a la lectura efectuada hay que añadirle el radio; *c*) medición con pie de rey y espiga auxiliar (broca); hay que restar el radio.

Sujeción de las piezas en la taladradora

El centro, marcado con granete, del agujero que se quiera taladrar, tiene que hallarse exactamente debajo de la punta de la broca. No se puede conseguir un taladrado vertical si no se parte de un apoyo horizontal y bueno de la pieza. Por esta razón la mesa de taladrar tiene que hallarse libre de virutas y de toda clase de cuerpos pequeños (fig. 2.43). Cuando se practican agujeros pasantes puede ser deteriorada la mesa por agujerearla con la broca (figura 2.44). Para evitar esto, la broca, al salir del agujero que ha practicado en la pieza, debe coincidir con un agujero o lumbrera que lleva la mesa, y si la mesa no lo lleva se colocará debajo de la pieza un trozo de madera o piezas paralelepipédicas de igual altura, de modo que dejen entre sí el hueco necesario para alojar la punta de la broca.

Al taladrar se engendran momentos de giro que tienen tendencia a hacer girar la pieza. Estos esfuerzos se hacen especialmente sensibles cuando la punta de la broca sale del taladro. La pieza debe ser asegurada contra ese giro. Cuando se trata de piezas muy grandes, su mismo peso las mantiene fijas. Para sujetar piezas pequeñas se prestan bien las entenallas (figura 2.45). A veces sirve también un perno o ángulo fijado en las ranuras de la mesa de taladrar para hacer tope. Lo más seguro es sujetar de modo fijo la pieza. Se emplea para ello el tornillo de banco o de la mesa de taladrar (fig. 2.47). Para la sujeción deben elegirse tornillos que ajusten convenientemente (fig. 2.49). Las piezas redondas se apoyan en lo que se llama prisma o pieza uve (fig. 2.48).

Para taladrar una cantidad grande de piezas iguales (piezas en serie) se emplean montajes de taladrar adecuados (fig. 2.50). La pieza se fija en el montaje y la broca es guiada mediante casquillos templados. Como con los montajes se ahorra uno el trazado y el marcado con granete, resulta un ahorro de tiempo.

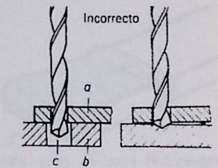
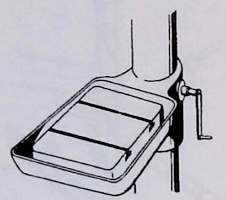
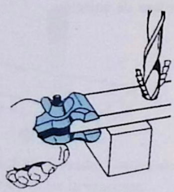
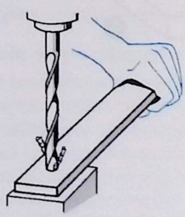
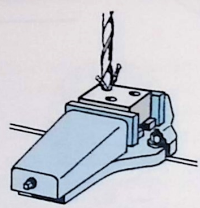


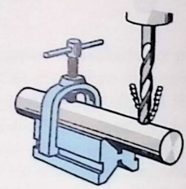
Figura 2.43 La pieza debe estar dispuesta horizontalmente. *a*) Pieza; *b*) mesa de taladrar; *c*) agujero o lumbrera.


Figura 2.44 Mesa de taladrar deteriorada por haber sido agujereada con la broca.


Figura 2.45 Sujeción de piezas pequeñas con una entenalla.


Figura 2.46 Sujeción de piezas largas (insegura).


Figura 2.47 Sujeción en el tornillo de la máquina.


Figura 2.48 Sujeción en el prisma.

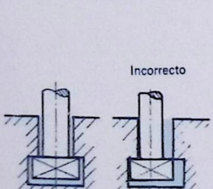


Figura 2.49 Los tornillos de sujeción deben ajustar convenientemente en las ranuras de sujeción.

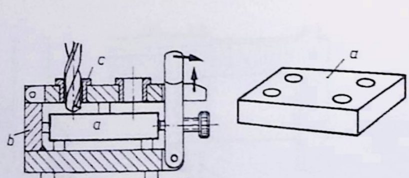


Figura 2.50 Montaje para taladrar. *a*) Pieza; *b*) montaje para taladrar; *c*) casquillos para guía de la broca.

Normas de trabajo para la operación de taladrar

Normas de seguridad

1. Asegurar las piezas contra el giro (lesiones en las manos).
2. No separar las virutas con las manos (lesiones en los dedos); no soplar las pequeñas virutas (lesiones en los ojos). Empléense tenazas o brochas.
3. Los cabellos sueltos y colgantes y mangas o chalecos sueltos pueden ser enganchados por el husillo portaútil.

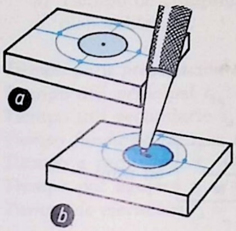


Figura 2.51 Al ir a taladrar fijarse bien en el trazado *a*). Si la broca se desvía hay que volver a granetear el centro del taladro *b*). Durante el proceso de la operación de taladrar obsérvense la pieza y la broca.

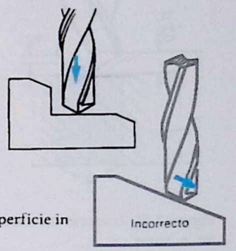


Figura 2.52 Al empezar a taladrar una superficie inclinada puede quebrarse la broca.

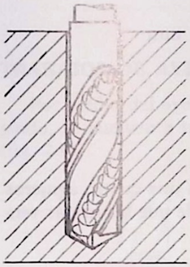


Figura 2.53 Las virutas no deben detenerse en las ranuras de la broca; en virtud del aumento de rozamiento puede quebrarse la broca. Cuando se taladran agujeros profundos hay que extraer la broca frecuentemente del taladro para eliminar las virutas.

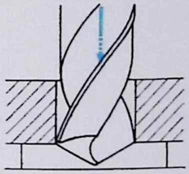


Figura 2.54 Al empezar a salir la broca por el otro extremo del agujero pasante hay que disminuir el avance, pues de lo contrario se clava y se rompe.

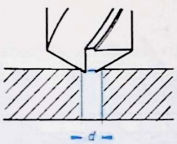


Figura 2.55 Los agujeros grandes se hacen en dos veces para disminuir la presión del avance. El taladrado previo debe ser al menos de un diámetro igual a la largura del filo transversal de la broca que se emplee en la segunda pasada.

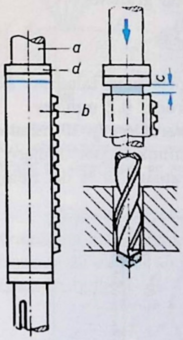


Figura 2.56 Entre el husillo portaútil *a* y el casquillo de arrastre *b* no debe existir juego axial ninguno *c*). Al salir la broca puede, en caso contrario, caer el husillo portaútil hacia abajo por su propio peso a causa de la disminución de la presión de avance. Como consecuencia, la broca se clava y se rompe. El juego se evita actuando sobre la tuerca de anillo *d*.

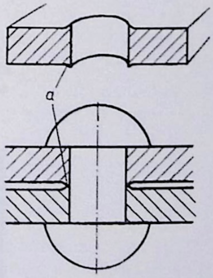


Figura 2.57 Al taladrar, se forma en los bordes del taladro una rebaba muy pronunciada que impide el ajuste de las piezas. Aparte de esto, los cantos afilados pueden dar lugar a rasguños. Es decir, que los taladros deben ser desbarbados, empleándose con este fin generalmente el avellanador.

Cálculo del tiempo útil principal y del tiempo disponible para taladrar

Cálculo del tiempo útil principal al taladrar

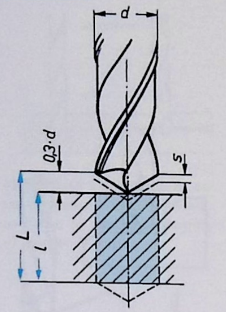


Figura 2.58 Trayecto de trabajo de la broca.

El tiempo principal (t_{hu}) es el tiempo de funcionamiento de la máquina, es decir, el tiempo durante el cual el filo de la broca arranca virutas.

Notaciones (fig. 2.58).
l = profundidad del agujero.
L = carrera de trabajo de la broca = profundidad de agujero + punta de broca.
$L = l + 0{,}3 \cdot d$
d = diámetro de la broca en mm.
n = número de revoluciones de la broca por minuto.
s = avance de la broca en mm/rev.
avance/minuto = avance/rev · número revol. minuto
avance/minuto = $s \cdot n$

$$\text{tiempo útil principal} = \frac{\text{carrera de trabajo}}{\text{avance/min.}} \qquad \boxed{t_{hu} = \frac{L}{s \cdot n}} \quad \text{en min.}$$

Ejemplo: $l = 30$ mm; $d = 18$ mm
$s = 0{,}2$ mm/rev; $n = 300$ rev/min.

Solución: $L = l + 0{,}3 \cdot d = 300 \text{ mm} + 0{,}3 \cdot 18 \text{ mm} = 35{,}4 \text{ mm}$

$$t_{hu} = \frac{L}{s \cdot n} = \frac{35{,}4 \cdot \text{mm}}{0{,}2 \text{ mm} \cdot 300/\text{min}} = 5{,}9 \text{ min.}$$

Cálculo del tiempo disponible al taladrar (véase pág. 47)

Ejemplo: En seis bridas (fig. 2.59) hay que practicar en cada una cuatro agujeros para los tornillos. Determinar el tiempo disponible T en el caso de que las bridas vengan ya marcadas con granete.

Datos:

Velocidad de corte para taladrar: 22 m/min.
Avance de la broca: 0,2 mm/rev.
Tiempo de preparación t_p: 10 minutos.
Tiempo útil secundario por agujero t_n: 1 minuto.
Tiempo a prorratear: 10 % del tiempo fundamental t_g.

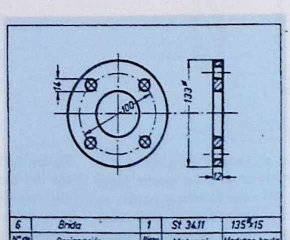


Figura 2.59 Plano de taller.

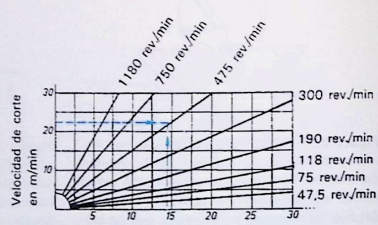


Figura 2.60 Gráfico de velocidades de corte para una taladradora.

Solución:

a) Tiempo útil principal para taladrar un agujero: $L = l + 0{,}3 \cdot d = 14$ mm $+ 0{,}3 \cdot 14$ mm $= 18{,}2$ mm n, de acuerdo con el gráfico de velocidades de corte (fig. 2.60) = 475 rev/min.

$$t_{hu} = \frac{L}{s \cdot n} = \frac{18{,}2 \text{ mm}}{0{,}2 \text{ mm} \cdot 475 \text{ rev/min}} = 0{,}19 \text{ min.}$$

b) Tiempo de cumplimentación del encargo *m* de hacer 24 taladros, o sea, tiempo disponible:

Tiempo para preparación t_r	10 min
Tiempo útil principal t_{hu}	= 0,2 min
Tiempo útil secundario t_n	= 1 min
Tiempo fundamental $t_g = t_{hu} + t_n$	= 1,2 min
Tiempo a prorratear t_v = 10 % de t_g	= 0,12 min
Tiempo por agujero $t_e = t_g + t_v$	= 1,32 min
Tiempo de ejecución $t_a = m \cdot t_e$	= 24 · 1,32 min
	= 31,68 min
Tiempo disponible para el encargo $T = t_r + t_a$	41,68 min

TRABAJOS DE AVELLANADO

Por medio del avellanado con herramientas de penetrar adecuadas al objeto perseguido, se vuelven a trabajar agujeros previamente taladrados o dejados de fundición (fig. 2.61).

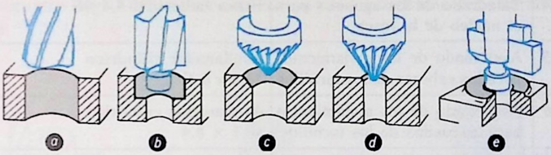


Figura 2.61 Ejemplos de avellanado. *a*) Barrenado de un agujero previamente taladrado; *b*) cajera cilíndrica para alojar, por ejemplo, un tornillo cilíndrico; *c*) avellanado cónico para alojar, por ejemplo, tornillos o roblones avellanados; *d*) desbarbado de taladros; *e*) refrentado de superficies de apoyo.

Avellanar es arrancar virutas con una herramienta (avellanador o fresa) de filos múltiples que actúan todos a la vez. Para el arranque de virutas se precisan movimientos de corte y de avance (véase taladrado). El avellanado es un trabajo de desbaste.

Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado: Proveer de un agujero pasante (∅ 18) y de taladros para tornillos cilíndricos a la pieza de articulación de la figura 2.62.*

La superficie de apoyo para la llanta de acero está ya trabajada. El agujero pasante va señalado con un signo de desbastado. Como la exactitud que puede conseguirse con

* En este ejemplo prescindiremos de la ejecución de la rosca.

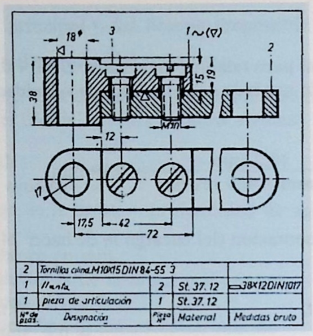
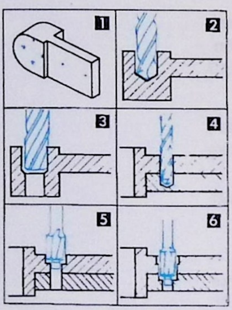


Figura 2.62 Plano de taller.

una broca helicoidal no es suficiente, el agujero debe ser previamente taladrado y después avellanado con un penetrador espiral.

Plan de trabajo



	Fases del trabajo	Herramientas
1	Trazado	Punta de trazador, gramil, escuadra
2	Taladrado previo del agujero pasante	Broca helicoidal 16 SS
3	Avellanado del agujero pasante	Penetrador espiral 18 SS
4	Taladrado de los agujeros para el núcleo de la rosca	Broca helicoidal 8,4 SS
5	Avellanado de los alojamientos para las cabezas de los tornillos	Avellanador cilíndrico 16,5 × 8,4†
6	Avellanado de los alojamientos para los cuellos de los tornillos	Avellanador cilíndrico 10,5 × 8,4
7	Ejecución de la rosca*	Macho de roscar
Instrumentos de medida: regla de acero, pie de rey, calibre profundidades		

* En este ejemplo prescindiremos de la ejecución de la rosca.

† 16,5 diám., 8,4 diám. espiga.

Taladrado y avellanado

Trazado. La pieza de articulación se prepara para el trazado pintándola con blanco de España. Los ejes para los taladros pueden trazarse sobre el mármol de trazador. Para que se pongan de manifiesto las desviaciones de la broca es necesario para el taladro de ∅ 18 trazar las circunferencias del taladro y de comprobación (figura 2.63). Después de taladrar no deben verse sino las mitades exteriores de las marcas hechas con el granete. Para los agujeros de los tornillos no es necesario el trazado de las circunferencias.

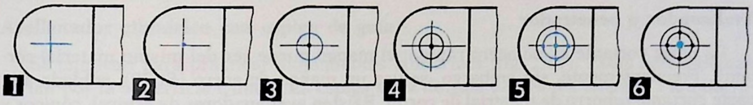


Figura 2.63 Sucesión de operaciones en el trazado del agujero: 1, trazado de ejes; 2, marcado del punto de intersección con granete; 3, marcado de la circunferencia del taladro; 4, trazado de la circunferencia de comprobación; 5, marcado de la circunferencia del taladro con granetazos de comprobación; 6, repaso del centro con broca de centrado.

Taladrado y penetrado. Se sujetan ambas piezas juntas en el tornillo de banco, disponiéndolas teniendo en cuenta la superficie trabajada (fig. 2.64). El número de revoluciones y el avance se ajustan del modo conocido.

Para taladrar el agujero pasante, previamente taladrado, hay que elegir un penetrador de la medida definitiva (Ø 18), puesto que el agujero así terminado debe corresponder a la dimensión final exigida. Respecto a velocidades de corte y avance véase tabla 2.3.

Al hacer los taladros y los avellanados para los tornillos cilíndricos hay que seguir el orden de sucesión de operaciones especificado en el plan de trabajo. Si, por ejemplo, se realizara primeramente el avellanado con el avellanador de Ø 10,5, la punta del de Ø 16,5 no tendría ninguna guía ya que ambos tienen el mismo diámetro para la espiga. Al ejecutar el avellanado puede graduarse la profundidad del mismo gracias al tope existente en la taladradora.

Medición y verificación de taladros y alojamientos. Los diámetros pueden medirse con el pie de rey y la profundidad de las cajeras o alojamientos practicados, con el calibre de profundidades (fig. 2.65). A veces basta comprobar esas profundidades por medio de los mismos tornillos cilíndricos que han de ir en la pieza. La verticalidad del taladro se verifica por medio de la escuadra y de la espiga de verificación que se introduce en el agujero (fig. 2.66). Entre esta espiga y la escuadra no debe verse ninguna rendija de luz.

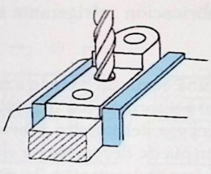


Figura 2.64 Sujeción, taladrado y avellanado de la pieza.

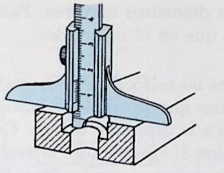


Figura 2.65 Medición de la profundidad de la cajera practicada.

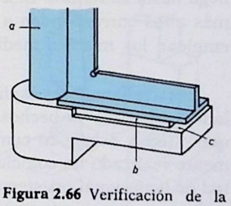


Figura 2.66 Verificación de la perpendicularidad del taladro respecto a la superficie de apoyo. *a*) Espiga; *b*) pieza paralela o calibre normal de caras paralelas; *c*) superficie de apoyo.

No se exigen condiciones especiales respecto a la calidad de la superficie de agujeros practicados con brocas helicoidales. Las paredes de los agujeros barrenados o penetrados responden a la calidad de desbastado. Hay que tener esto en cuenta al verificar la naturaleza o constitución de las superficies.

Avellanador o penetrador

La parte cortante es de acero rápido; el mango puede ser del mismo material cortante. Frecuentemente, sin embargo, se usa un mango de acero (St 70), soldado a la parte cortante (ahorro de material de corte). Existen avellanadores de espiral, cónicos y cilíndricos. El mango para sujetarlos puede ser cilíndrico o cónico (cono Morse). Los avellanadores son útiles de desbastar.

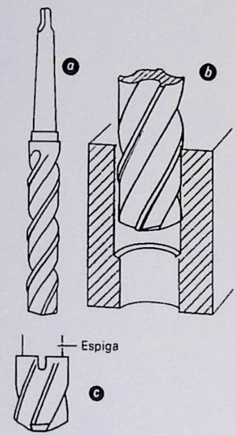


Figura 2.67 Barrenado con penetrador espiral. *a)* Penetrador espiral, *b)* efecto cortante del penetrador espiral, *c)* penetrador de quita y pon.

Avellanado o penetrado con útiles de espiral

Se emplean estos útiles de espiral para ensanchar agujeros previamente taladrados o dejados de fundición.

Los avellanadores o penetradores de espiral se asemejan en su forma exterior a la broca helicoidal. Carecen, no obstante, de punta. Por medio de tres o cuatro filos y otras tantas fajas de guía se consigue un trabajo suave y se reducen las posibles desviaciones en el taladro. Los útiles de quita y pon se fijan en un mandril. Tienen generalmente cuatro filos y el diámetro nominal suele oscilar entre los 24 y los 100 mm.

Existen penetradores *bajos de medida* y otros que son para *medida definitiva*. Con los primeros se barrenan agujeros que han de ser todavía escariados, mientras que con los segundos se consigue la medida final deseada.

Designación de un avellanador espiral con cono Morse y diámetro nominal de 19,75 mm: Avellanador espiral 19,75 DIN 343.

Los avellanadores deben trabajar con movimiento rigurosamente concéntrico. Las normas fundamentales apuntadas al hablar de la fijación de las brocas son también aplicables a los avellanadores. La pieza a trabajar debe, igualmente, estar bien sujeta. Generalmente, sin soltar la pieza, se taladra y se da la segunda pasada con el avellanador. Para esta segunda operación se deja, por lo general, una sobremedida determinada, por ejemplo, se hace el taladrado previo a 18 mm de diámetro y el siguiente a 20 mm de diámetro. La velocidad de corte para útiles de acero rápido es, cuando el material que se trabaja es acero o fundición, de 20 a 30 m/min; en el caso de metal ligero se llega hasta 80 m/min. El avance está comprendido entre 0,1 y 0,7 mm/rev.; los valores más altos corresponden a los diámetros mayores. Para la lubricación refrigerante se emplean los mismos medios que en el taladrado.

Los avellanadores espirales no solamente sirven para dar una segunda pasada a taladros menores ya hechos, sino que se emplean, además, para suprimir los defectos que puedan existir en cuanto a la dirección del eje. Cuando el eje del taladro previamente realizado no coincide con el eje deseado, el avellanador puede desviarse en virtud de la desigual resistencia que encuentran los filos. Para limitar la desviación, lo que se hace es barrenar repetidas veces con diámetros diferentes.

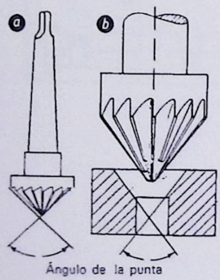


Figura 2.68 Avellanado con avellanador cónico. *a)* Avellanador, *b)* modo de trabajar el avellanador cónico.

Avellanadores cónicos

Este tipo de avellanadores se emplean para la consecución de alojamientos cónicos (fig. 2.68). La magnitud del ángulo de la punta varía según el objeto perseguido con la operación, por ejemplo para desbarbar se le da una amplitud de 60°, para roblones avellanados, de 75° o de 90° y para tornillos avellanados, de 90°.

Avellanador cilíndrico con espiga de guía

Se emplean para practicar alojamientos cilíndricos (fig. 2.69). Estas herramientas cortan por la superficie frontal. La espiga sirve de guía dentro del taladro. Para barrenar estos rebajos para los tornillos cilíndricos (fig. 2.70) se utilizan avellanadores cilíndricos de diversos tamaños (tabla 2.4). Los de espiga-guía recambiable permiten ser afi-

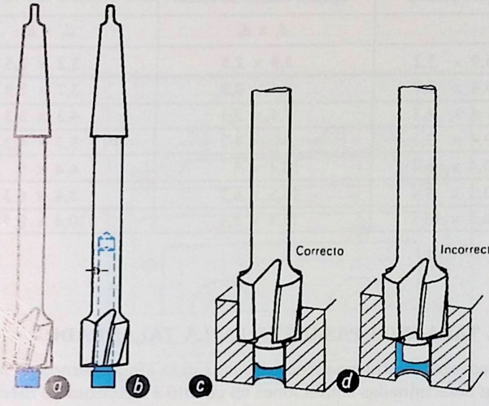


Figura 2.69 Avellanado con avellanador cilíndrico. *a*) Avellanador cilíndrico, *b*) Avellanador cilíndrico con punta recambiable, *c*) forma de trabajar el avellanador; *d*) espiga-guía demasiado delgada: cajeras descentradas (defectuoso).

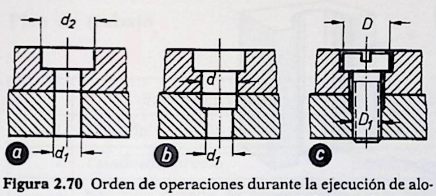


Figura 2.70 Orden de operaciones durante la ejecución de alojamientos para tornillos cilíndricos. *a*) Taladrar el agujero para el núcleo d de la rosca y avellanar el alojamiento d_2 para la cabeza del tornillo; *b*) avellanar el alojamiento d_1 para el cuello del tornillo; *c*) ejecución de la rosca.

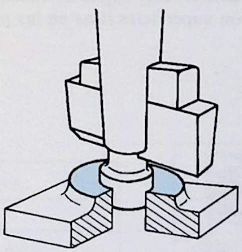


Figura 2.71 Cuchilla plana para refrentado de cubos y tetones.

lados más fácilmente que los corrientes de espiga fija y pueden utilizarse para taladros de distinto tamaño. Para refrentar superficies de apoyo se presta bien la cuchilla plana de la figura 2.71. En la operación hay que procurar que la espiga esté bien engrasada, pues en caso contrario se rayaría el agujero.

Tabla 2.4 Diámetro d_1 de alojamiento, y d_2 de la espiga de guía del avellanador cilíndrico para tornillos cilíndricos con hendidura longitudinal, grado de calidad fino DIN 373 (extracto)

Diámetro de rosca	Avellanador cilíndrico para alojamientos de cabezas de tornillos guiados en		Avellanador cilíndrico para agujeros francos en caso de guía en agujero de núcleo de rosca
	agujero pasante	agujero núcleo de rosca	
		$d_1 \times d_2$	$d_1 \times d_2$
3	5,9 × 3,2	5,9 × 2,5	3,2 × 2,5
3,5	6,4 × 3,7	6,4 × 2,9	3,7 × 2,9
4	7,4 × 4,3	7,4 × 3,3	4,3 × 3,3
5	9,4 × 5,3	94, × 4,2	5,3 × 4,2
6	10,4 × 6,4	10,4 × 5	6,4 × 5
8	13,5 × 8,4	13,5 × 6,7	8,4 × 6,3
10	16,5 × 10,5	16,5 × 8,4	10,4 × 8,4

EJECUCIÓN DE TALADROS PASANTES EN LA TALADRADORA VERTICAL

Los taladros pasantes se utilizan principalmente para alojar pernos, árboles, casquillos, etc. Se exigen determinadas condiciones en cuanto a exactitud de medidas y a calidad superficial. La tolerancia admisible se indica sobre el plano, generalmente por medio de una *designación abreviada de ajuste*, y la calidad superficial por medio del *signo de superficie* correspondiente.

Los taladros ejecutados con la broca helicoidal no son lisos ni responden a las medidas deseadas, no satisfaciendo, por tanto, las condiciones que se exigen para un taladro pasante. Con objeto de conseguir un taladro que corresponda a las medidas deseadas y con superficies lisas en las paredes, hay que recurrir al escariado (fig. 2.72). Escariar

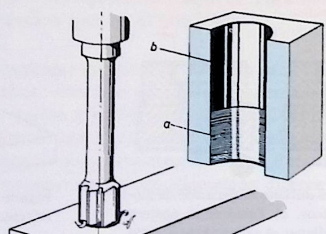


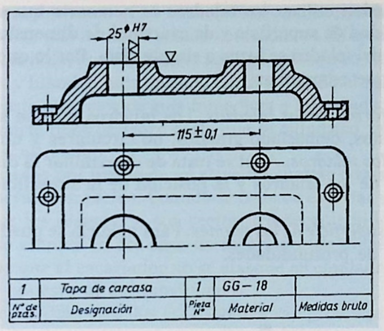
Figura 2.72 Trabajo de escariado realizado con la taladradora vertical. *a*) Taladrado; *b*) escariado.

es arrancar virutas con un útil de varios filos (escariador) que está constantemente en acción durante el trabajo. Respecto a movimientos, véase «taladrado». El escariador es

un trabajo de afinado. El escariador se introduce en el agujero previamente hecho por taladrado o barrenado y arranca con sus dientes virutas finas.

Ejemplo de trabajo

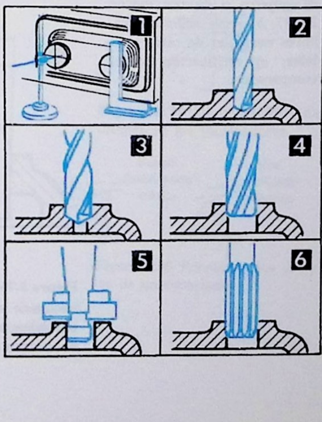
Trabajo encargado: Hacer dos taladros pasantes paralelos en la tapa de carcasa de la figura 2.73. En cuanto a la calidad de la superficie, se indica en el plano el signo de



afinado. El signo H7 es un signo de ajuste. La superficie de apoyo inferior ha sido ya trabajada con la fresadora. Al mismo tiempo hay que trabajar las dos caras frontales de los cubos, refrentándolas.

Plan de trabajo

	Fases del trabajo	Herramientas
1	Trazado	Gramil, compás
2	Taladrado previo	Broca helicoidal Ø 9 SS
3	Segunda pasada de broca	Broca helicoidal Ø 23 SS
4	Avellanado	Avellanador espiral Ø 24,7 SS
5	Refrentado de los tetones de los taladros	Cuchilla plana
6	Escariado	Escariador para máquina Ø 25 H7 SS
Instrumentos de medida y calibrado: Pie de rey, calibre para agujeros, calibres normales de caras paralelas.		





Escariado en la taladradora vertical. Con objeto de que el escariador tenga en las paredes del taladro suficiente material para arrancar, el agujero se taladra previamente, o se barrena, a un diámetro inferior al diámetro final del agujero en el valor del exceso para el escariado (tabla 2.5). Cuando para el escariado se hace el taladro previo con la broca helicoidal hay que tener en cuenta el juego (o exceso de medida) a que da lugar la broca, por ejemplo, 0,05 mm.

Ejemplo: Se trata de escariar un agujero de diámetro igual a 12 mm en una pieza de acero. ¿Qué diámetro de broca habremos de emplear?

Solución: Exceso que se deja para el escariado, según tabla 2.5 0,2 mm
Juego que queda al taladrar aprox. 0,05 mm
Ø broca = medida final − (exceso + juego)
Ø broca = 12 mm − (0,2 mm + 0,05 mm) = 11,75 mm

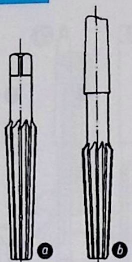


Figura 2.83 Escariadores cónicos. *a*) Escariador cónico de mano; *b*) escariador cónico de máquina.

Tabla 2.5 Excesos para el escariado

Diámetro del agujero ya terminado de escariar, en mm	Exceso que se deja para el escariado, en mm
Menos de 5	0,1 a 0,2
5 a 20	0,2 a 0,3
21 a 50	0,3 a 0,5
Más de 50	0,5 a 1
Para metales ligeros el exceso que se deja se elige un 50 % mayor.	

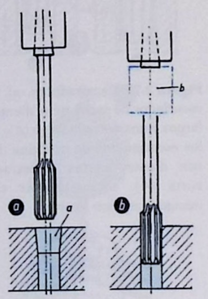


Figura 2.84 Escariado haciendo uso de la taladradora. *a*) Taladro con ensanchamiento en la boca (ejes no alineados); *b*) el casquillo pendular evita el ensanchamiento en la boca.

Tabla 2.6 Velocidad de corte (*v*), avance (*s*) y refrigeración para el escariado

Material	*v* para escariadores de acero de herramientas	*v* para escariadores de acero rápido	*s* para taladros de Ø 6 ... Ø 60
Acero, bronce fundición	3 a 4	4 a 5	0,3 a 0,75 0,5 a 2
Aluminio Aleac. aluminio	12 a 17 6 a 9	17 a 20 9 a 12	0,5 a 2
Aleac. magnesio	a 20	a 30	
Refrigeración (véase pág. 46). Acero: taladrina o aceite de colza; fundición: en seco; Aleac. aluminio: Aceite, petróleo; Aleac. Mg. seco o petróleo.			

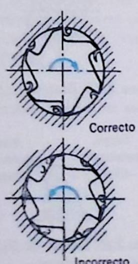


Figura 2.85 El escariador no debe girar nunca hacia la izquierda.

La superficie de la pieza en que se practica el agujero ha de ser plana. Si el borde del agujero presenta melladuras, puede engancharse en ellas el escariador. Antes de proceder al escariado hay que eliminar del agujero las virutas.

Al colocar el escariador en la máquina hay que atender a que quede firmemente sujeto y a que su movimiento sea concéntrico. La pieza a trabajar debe, del mismo modo, estar bien sujeta. Por lo general, en una misma sujeción de la pieza se procede al taladrado, al avellanado y al escariado. Con esto se consigue una buena alineación de los ejes. Cuando no ocurre esto, se forma en la boca de entrada del escariador un ensanchamiento cónico (fig. 2.84). Por medio de un casquillo pendular se compensan las pequeñas diferencias que pudieran existir en cuanto a la alineación de los ejes, evitándose el ensanchamiento de la boca antes citado.

La *velocidad de corte*, el *avance* y la *lubricación refrigerante* tienen influencia sobre la calidad superficial de la pared del agujero. Cuando en el escariador el paso de la entrada a su parte cilíndrica no está redondeado, puede quedar señalado el avance por medio de rayas en la pared del agujero. Los escariadores no deben nunca girar a la izquierda (figura 2.85), pues de hacerlo, las virutas que quedan oprimidas rayarían la pared del taladro y además podrían romperse los dientes. Los escariadores deben guardarse en cajas de madera.

EJECUCIÓN DE TALADROS QUE SE CRUZAN HACIENDO USO DE LA MANDRINADORA UNIVERSAL

Los taladros dispuestos en cruz sin cortarse sirven a menudo para alojar en ellos pasadores o árboles que guardan entre sí esa posición relativa (fig. 2.86).

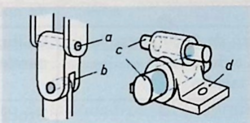


Figura 2.86 Ejemplos de taladros que se cruzan. *a*) Pasador; *b*) pieza de articulación; *c*) árboles; *d*) soporte.

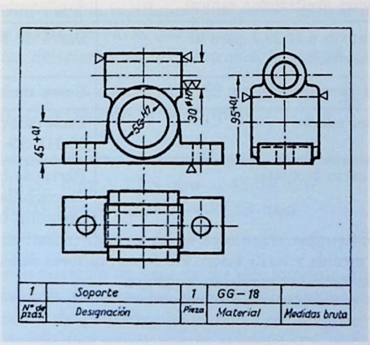


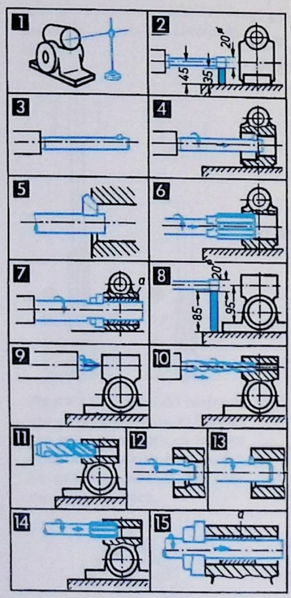
Figura 2.87 Plano de taller.

Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado: Practíquense los taladros de ∅ 55 y de ∅ 30 del soporte que aparece en la figura 2.87, refrentando además las supereficies frontales.

El taladro inferior está dejado de fundición y el superior hay que taladrarlo en el material lleno. La pieza se suministra con la superficie de asiento ya mecanizada. Se dispone para el trabajo de una mandrinadora universal con mesa de trabajo desplazable.

Plan de trabajo



	Fases del trabajo	Herramientas
1	Trazado	Escuadra, gramil
2	Colocación adecuada y sujeción de la pieza, disposición del husillo de taladrar sobre el centro del taladro	Calibres paralelos normales; espiga de ajuste de ∅ 20
3	Sujeción de la barra de barrenar	Barra de barrenar al aire de ∅ 32
4	Barrenado para escariar dejando el taladro a ∅ 54,7	Barra de barrenar
5	Achaflanado para escariar	Barra de barrenar
6	Escariado del taladro	Escariador de mango aparte 55 H7 SS
7	Refrentado de caras frontales	Barra de barrenar con cuchilla de aplanar y casquillo int. a
8	Para taladrar el agujero de ∅ 30 gírese la mesa en 90°, ajústese el husillo de taladrar al centro del taladro	Calibres normales de caras paralelas, espiga de ajuste
9	Centrado	Broca de centrar
10	Taladrado previo con broca	Brocas helicoidales de 10 y 25 SS
11	Avellanado con avellanador espiral	Avellanador espiral 28 SS
12	Taladrado previo a ∅ 29,7 para el escariado posterior	Barra de barrenar
13	Achaflanado para escariar	Barra de barrenar
14	Escariado del taladro	Escariador de máquina 30 H7 SS
15	Refrentado caras frontales	Barra de barrenar provista de cuchilla de aplanar; casquillo int. a
Instrumentos de medida y verificación: Pie de rey, calibres de tolerancias, comparador, calibres normales de caras paralelas, escuadra.		

El husillo de taladrar puede ajustarse sobre el centro del taladro con ayuda de calibres normales de caras paralelas y de mandril de verificación. El madril está templado y rectificado. El mango cónico de esta espiga se introduce en el cono hueco del husillo de taladrar. El carro se sube o baja hasta que los calibres normales puedan deslizarse entre la mesa y el mandril de verificación. A veces van dispuestas en las máquinas unas reglas graduadas que facilitan el ajuste.

El mango cónico de la barra de barrenar se introduce a tope dentro del alojamiento del husillo de taladrar. Este husillo realiza los movimientos principal y de avance. En los taladros largos puede también darse lugar al avance por medio de desplazamiento de la mesa. El espesor de viruta se regula por medio del tornillo de ajuste de la barra de barrenar (véase página 101). Con objeto de que esta barra no flexe al realizar el aplanado de las superficies frontales, se apoya en un casquillo intermedio.

Medición y verificación de taladros

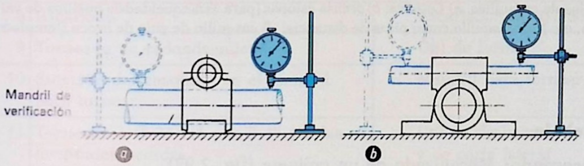


Figura 2.89 Verificación del paralelismo de los agujeros y de la superficie de apoyo por medio de calibres normales de caras paralelas. *a*) Verificación del taladro inferior; *b*) verificación del taladro superior.

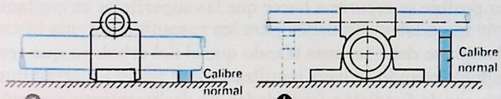


Figura 2.88 Verificación del paralelismo de los agujeros y de la superficie de apoyo por medio del comparador. *a*) Verificación del taladro inferior; *b*) verificación del taladro superior.

1. *Calibrado del diámetro de los taladros*. El calibrado puede realizarse con calibres cilíndricos o machos.
2. *Verificación del paralelismo de los taladros con la superficie de apoyo* (figs. 2.88 y 2.89). Se coloca el soporte sobre el mármol. En los taladros se introduce el mandril de verificación. Para la verificación se puede utilizar un comparador o también calibres normales de caras paralelas.
3. *Verificación de las distancias de los centros a la superficie de apoyo* (fig. 2.90).

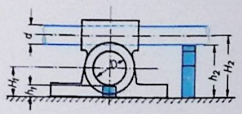


Figura 2.90 Comprobación de las cotas de los centros de los agujeros.

Ejemplo Supongamos que la cota $h_1 = 17{,}55$ mm y la $h_2 = 80{,}03$ mm (determinadas con calibres normales), $D = 55$ mm, $d = 30$ mm.

Solución. Las distancias de los centros H_1 y H_2 se determinan por cálculo.

$$H_1 = h_1 + D/2 = 17{,}55 \text{ mm} + 27{,}5 \text{ mm} = 45{,}05 \text{ mm}$$
$$H_2 = h_2 + d/2 = 80{,}03 \text{ mm} + 15 \text{ mm} = 95{,}03 \text{ mm}$$

Ambas distancias se hallan dentro de la tolerancia admisible.

4. *Comprobación de la posición en cruz de los dos taladros* (figura 2.91). Para realizar esta comprobación, se necesitan mandriles o espigas de verificación, un bloque o caja de forma de paralelepípedo recto rectangular y una escuadra.

El bloque paralelepipédico se ajusta contra el mandril interior. La verificación con la escuadra o el cartabón se realiza por el procedimiento de la rendija de luz.

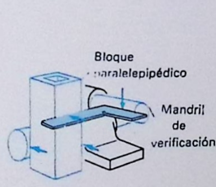


Figura 2.91 Comprobación de la posición cruzada en ángulo recto de los taladros.

MECANIZADO DE CASQUILLOS O MANGUITOS

Los casquillos se utilizan, por ejemplo, en forma de cojinetes, prensaestopas, piezas de distancia y guías de broca (fig. 2.92).

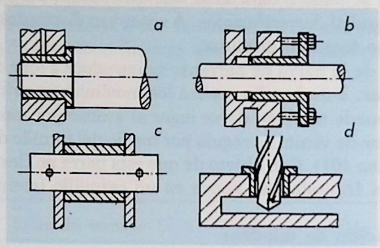


Figura 2.92 Ejemplos de casquillos. *a*) Cojinete; *b*) prensa-estopas (para estanqueidad de husillos de válvula, vástagos de émbolo, etc.); *c*) casquillo como pieza de distancia; *d*) casquillo de guía de broca (templado).

Ejemplo de trabajo.

Trabajo encargado: Mecanizado de un cojinete (fig. 2.93).

Los cojinetes sirven para soportar árboles y ejes. Entre las superficies de contacto del árbol que gira y del agujero existe rozamiento. Para hacer este rozamiento tan pequeño como sea posible se recurre a hacer que las superficies en contacto sean muy lisas, al empleo de materiales adecuados para los casquillos y a una buena lubricación. El material del cojinete debe ser más blando que el del árbol, ya que resulta más fácil recambiar el cojinete cuando se haya inutilizado, que poner un árbol nuevo. Los materiales adecuados son la fundición (cualidades de deslizamiento pequeñas), el bronce rojo, bronce y metal antifricción (buenas propiedades de deslizamiento). El metal antifricción se emplea para tornear el casquillo por colada. Frecuentemente se utilizan también materiales sintéticos para preparar cojinetes.

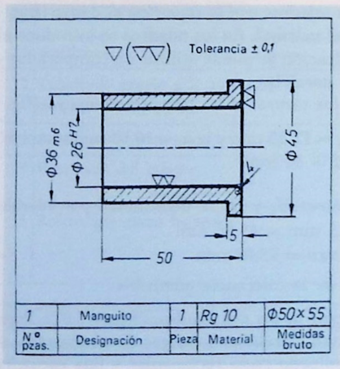


Figura 2.93 Plano de taller.

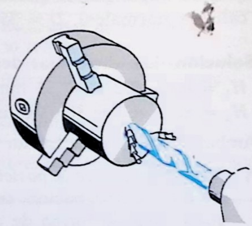
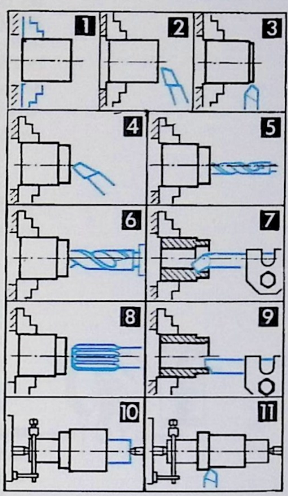


Figura 2.94 Taladrado en el torno con broca helicoidal.

Plan de trabajo

	Fases del trabajo	Herramientas
1	Sujeción de la pieza	Plato de tres garras
2	Refrentado de la cara frontal	Útil de corte lateral
3	Desbastado a Ø 45,5	Útil de corte recto
4	Centrado	Útil de corte lateral o broca de centrado
5	Taladrado previo	Broca helicoidal 10 SS
6	2.º taladrado	Broca helicoidal 22 SS
7	Torneado interior a Ø 25,8	Útil para torneado interior
8	Escariado	Escariador 26, H7 SS
9	Torneado de redondeamiento	Útil de forma
10	Sujeción del casquillo en el mandril para tornear	Mandril para tornear
11	Torneado a Ø 36 m6 y a Ø 45 y a las longitudes pedidas	Útil de desbastar, de afinar y de corte lateral
12	Desbastar	Útil de mano
Instrumentos de medida y de verificación: calibres de tolerancias, pie de rey, calibre de redondeamiento.		



Mecanizado del cojinete

Después del 2.º taladrado hay que tornear el agujero con el útil para cilindrados interiores, ya que la broca helicoidal no nos daría un agujero completamente liso. El casquillo debe ser terminado de tornear sobre el mandril con objeto de que coincidan los ejes de los cilindros exterior e interior.

Taladrado al torno

En el torno se pueden taladrar agujeros en el material macizo, se pueden cilindrar interiormente agujeros previamente taladrados, o sea, barrenar o penetrar, se puede ejecutar el avellanado y se puede escariar. Los taladros se suelen realizar por lo general en combinación con otros trabajos de torno.

Taladrado en el material macizo. Como herramienta para taladrar se emplea de ordinario la broca helicoidal.

La pieza a trabajar hay que sujetarla bien firme para que no se desplace como consecuencia del empuje axial del avance. Antes de proceder al taladrado hay que refrentar la superficie correspondiente y hacer el centrado (fig. 2.94). Si el centrado es defectuoso, la broca se desvía.

La broca o el portabrocas se introducen en el alojamiento cónico de la pínola del cabezal móvil del torno.

El número de revoluciones de la pieza se elige en relación con la velocidad de corte. El avance se actúa a mano, desplazando el cabezal móvil por medio de un volante. La

broca debe sacarse frecuentemente del agujero para extraer la viruta. Hay que cuidar de que la refrigeración sea buena.

Torneado interior de taladros. Como herramienta para este trabajo se emplean útiles de cilindrar interiormente o también barras o ejes de taladrar o barrenar provistos de cuchillas postizas (figs. 2.95 y 2.97).

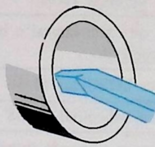


Figura 2.95 Torneado interior con el útil de cilindrar interiormente.

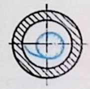


Figura 2.96 El útil de cilindrar interiormente ha de disponerse ajustado al centro.

Al sujetar el útil de cilindrar interiormente se dispone el corte a la altura del centrado (fig. 2.96). En el torneado interior tanto el avance como el espesor de viruta se mantienen más reducidos que en el torneado exterior, pues de lo contrario, el útil flexaría fuertemente.

Escariado en el torno (fig. 2.98). Se emplean escariadores de máquina con cuchillas fijas o regulables. El mango cónico del escariador se introduce en el alojamiento, también cónico, de la pínola del cabezal móvil. La pieza que se mecaniza y el escariador tienen que tener los ejes coincidentes para que no se produzca una pieza con ensanchamiento cónico a la entrada. Para compensar pequeñas inexactitudes en la coincidencia de ejes se utiliza un manguito pendular.

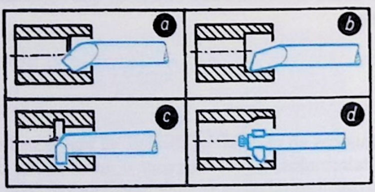


Figura 2.97 Útiles de cilindrar interiormente. *a*) Útil para desbastar interiormente; *b*) útil de corte lateral para torneado interior; *c*) cuchilla acodada; *d*) barra o eje de taladrar provisto de cuchilla postiza.

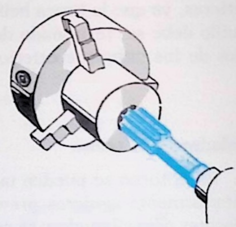


Figura 2.98 Escariado en el torno.

El agujero hay que taladrarlo previamente teniendo en cuenta el exceso correspondiente para el escariado. Se debe tener cuidado en que la velocidad de corte, el avance y la refrigeración sean las correctas (tabla 2.6). El avance se acciona a mano, debiéndose avanzar uniformemente el cabezal móvil para que la superficie de la pared del agujero resulte con la calidad deseada.

Medición y calibrado de taladros

La **profundidad** puede medirse con un pie de rey de profundidades o con el tornillo micrométrico de profundidades.

El **tornillo micrométrico** (fig. 2.99) se elige cuando un medidor o pie de rey de profundidades (pág. 42) no resulta apropiado. La escala permite lecturas de 1/100 mm. Para realizar la medición se oprime el puente sobre la superficie de la pieza y se gira el manguito exterior hasta que la varilla de medición toque la segunda superficie. En ese momento se actúa sobre la palanca de fijación, se extrae el calibre de la pieza y se realiza la lectura. Hay que observar que los valores del manguito interior crecen de derecha a izquierda.

Los **diámetros interiores** se verifican con diversos medios de verificación.

El **compás de interiores** (fig. 2.100), se utiliza a veces para medir durante el torneado con objeto de constatar que se acerca uno a la medida exigida. El instrumento no resulta adecuado para tolerancias pequeñas.

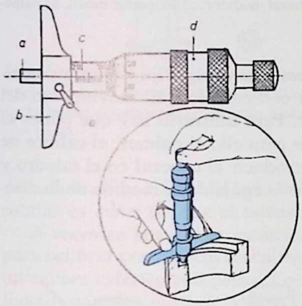


Figura 2.99 Calibre de profundidades. *a*) Varilla de medición, *b*) puente, *c*) manguito interior, *d*) manguito exterior, *e*) palanca de fijación.

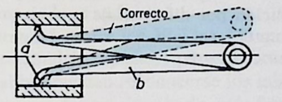


Figura 2.100 Compás de interiores. *a*) Picos de medición, *b*) patas movibles cuya separación se mide luego con un pie de rey.

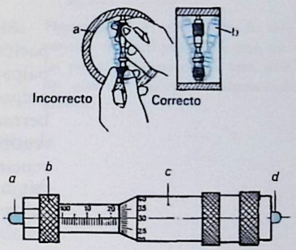


Figura 2.101 Calibre micrométrico de interiores. *a*) Copete, *b*) tuerca de fijación, *c*) manguito exterior, *d*) varilla de palpación.

Existen **tornillos micrométricos de interiores** de distintos tipos constructivos. En el caso del calibre de la fig. 2.101 se aplica el instrumento verticalmente contra la pared del taladro, se sujeta de modo fijo por la parte inferior y se hace mover por arriba con lento alargamiento hasta que sea imposible todo otro movimiento. Se saca entonces del taladro y se realiza la lectura. El calibre micrométrico con tres palpadores (fig. 2.102) se presta también para taladros largos. El apoyo en tres puntos posibilita un fácil manejo.

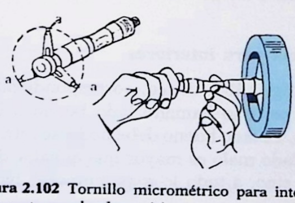


Figura 2.102 Tornillo micrométrico para interiores con tres palpadores (a).

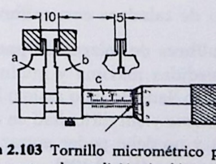


Figura 2.103 Tornillo micrométrico para interiores con patas de medición (a, b).

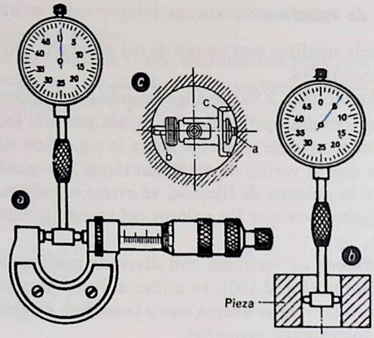


Figura 2.104 Medición de un taladro con el comparador. (**a**) Ajuste del cabezal medidor, el índice de la esfera tiene que ponerse a cero. (**b**) Verificación del taladro. (**c**) Cabezal medidor. *a*) Palpador móvil, *b*) palpador fijo, *c*) puente de tope.

El **comparador** solidario a un **cabezal medidor** con una espiga fija y la otra de palpación, móvil (fig. 2.104), sirve para mediciones por comparación. El movimiento del palpador es transmitido a la espiga del comparador. Para utilizarlo hay que poner el palpador a una medida predeterminada, utilizándose para ello el pálmer, el calibre de herradura o el anillo de calibrado (fig. 2.104). Al introducir el cabezal en el taladro y rectificar la medida predeterminada, la desviación de la aguja da la medida de la diferencia (medición por diferencia).

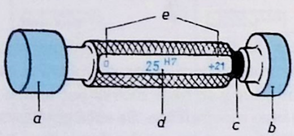


Figura 2.105 Calibre de tolerancia macho o para interiores. *a*) Lado bueno (lado «pasa»); *b*) lado malo (lado «no pasa»); *c*) anillo rojo; *d*) medida de ajuste; *e*) diferencias.

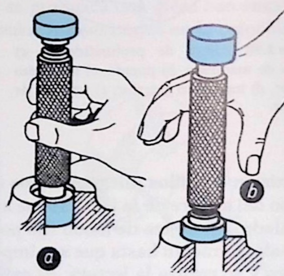


Figura 2.106 Verificación con calibre de tolerancia macho. *a*) El lado bueno tiene que poderse introducir sin dificultad; *b*) el lado malo debe únicamente empezar a encajar.

Calibrado de taladros con calibres de tolerancia para interiores

Los calibres de tolerancia para interiores (fig. 2.105) tienen, correspondiéndose con las medidas máxima y mínima, dos extremos, uno llamado lado bueno o lado «pasa» y otro llamado lado malo o lado «no pasa». El lado bueno debe poderse introducir suavemente y sin dificultad en el taladro. El lado malo es mayor que el valor de la tolerancia y no debe poder entrar en el taladro sino, a todo lo más, empezar ligeramente a encajar (fig. 2.106).

Calibre de tolerancia plano para interiores (fig. 2.107). Se usan como los calibres machos cilíndricos. Para determinar si el agujero no es cilíndrico hay que aplicarlo sucesivamente en diversos lugares y posiciones.

El **calibre de tolerancias esférico para interiores** (fig. 2.108), se emplea aplicando el extremo inferior en el agujero, y tratando de hacer oscilar el superior en la dirección

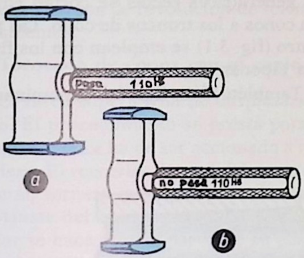


Figura 2.107 Calibres de tolerancia planos para interiores desde 100 hasta 200 mm de diámetro. *a*) Lado bueno o lado «pasa»; *b*) lado malo, o lado «no pasa».

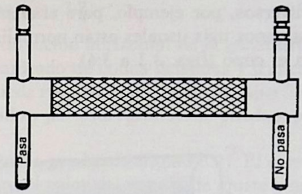


Figura 2.108 Calibre de tolerancia esférico para interiores de taladros superiores a los 200 mm de diámetro.

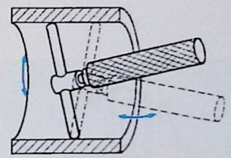


Figura 2.109 Si el calibre de tolerancias esférico puede hacerse oscilar por el lado «no pasa», será señal de que el agujero es demasiado grande.

del taladro (fig. 2.109). El lado bueno debe poder oscilar. Cuando el lado malo se puede oscilar es señal de que el taladro es demasiado grande.

A veces en la zona de medición comprendida entre los 30 y los 100 mm se emplea para calibrar por defecto un calibre macho cilíndrico «pasa» y para calibrar por exceso un calibre esférico «no pasa». Con este calibre pueden reconocerse los taladros defectuosos; por ejemplo, por falta de redondez o por forma abombada, más fácilmente que con un calibre macho cilíndrico.

Indicaciones sobre la verificación con calibres de tolerancia machos

1. Límpiese el taladro y las superficies correspondientes del calibre untándolas ligeramente con vaselina.
2. Introducir el calibre macho en dirección recta y no dejarlo metido en el agujero.
3. El calibre macho y la pieza han de tener la misma temperatura.

El uso de calibres machos fríos para verificar piezas calentadas puede tener consecuencias especialmente funestas que se ponen de manifiesto tan pronto como se deja el calibre un instante dentro del taladro.

4. Para el caso de verificación de taladros ciegos habrá que emplear un calibre macho provisto de una ranura o de un taladro, pues en caso contrario no podría salir el aire comprimido en el agujero por el calibre.

Capítulo 3

Mecanizado de piezas cónicas

Los conos son cuerpos de revolución cuyas generatrices rectas se cortan en un punto. En los talleres es corriente llamar también conos a los troncos de cono. Las piezas macizas cónicas y las huecas cónicas por dentro (fig. 3.1) se emplean con los fines más diversos, por ejemplo, para afianzar y para taponar (fig. 3.2).

Los conos más usuales están normalizados.* También están fijas las denominaciones en el cono (figs. 3.3 a 3.6).

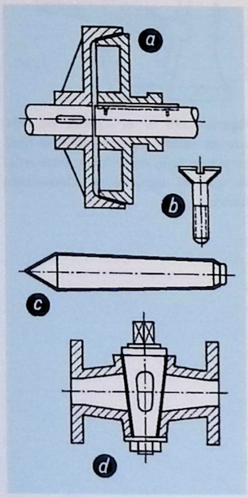


Figura 3.2 Ejemplos de piezas provistas de conos. *a*) Embrague cónico; *b*) tornillo avellanado; *c*) punta de granete; *d*) grifo.

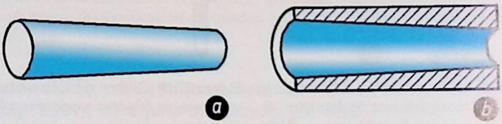


Figura 3.1 Clases de conos. *a*) Cuerpo cónico; *b*) cavidad cónica.

Los conos más usuales están normalizados*. También están fijadas las designaciones del cono (figs. 3.3 a 3.6).

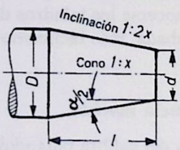


Figura 3.3 Designaciones en el cono. D = diámetro mayor del cono; d = diámetro menor del cono; l = longitud del cono; $1 : x$ = conicidad o cono; $1 : 2x$ = inclinación; $\alpha/2$ = ángulo de ajuste (a colocar en la máquina de mecanizado).

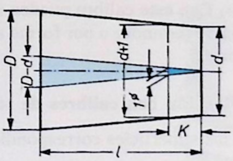


Figura 3.4 *Cono* $(D - d) : l$ simplificado a la forma $1 : k$. Cono $1 : x$ significa que en una longitud de x mm el diámetro del cono varía 1 mm.

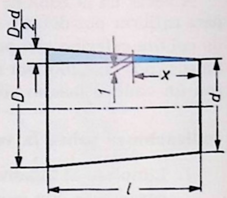


Figura 3.5 *Inclinación* $(D/2 - d/2) : l$ simplificado a la forma $1 : 2x$. Inclinación $1 : 2x$ significa que en una longitud de $2x$ mm el radio de cono varía 1 mm.

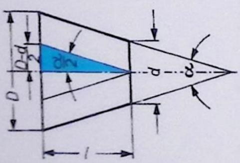


Figura 3.6 *Ángulo de ajuste* $\alpha/2$. Se utiliza para ajustar el torno. La tangente (tg) del ángulo de ajuste es $\operatorname{tg} \alpha/2 = (D/2 - d/2) : l \cdot$ α es el ángulo del cono.

Ejemplo: $D = 50$ mm, $d = 45$ mm, $l = 50$ mm.
Sea, calcular: *a*) cono $1 : x$, *b*) inclinación $1 : 2x$, *c*) ángulo de ajuste $\alpha/2$.

Solución: *a*) Cono. $(D - d) : l = 1 : x$; $(50 - 45) : 50 = 1 : 10$, es decir, que en una longitud de 10 mm el diámetro varía 1 mm.

b) Inclinación. $\frac{D-d}{2} : l = \frac{50-45}{2} : 50 = 1 : 20$ (o $1 : 2x = 1 : 2 \cdot 10 = 1 : 20$);

* *Prontuario de metales. Editorial Reverté, S.A., Barcelona.*

c) Ángulo de ajuste. $\operatorname{tg} \alpha/2 = \dfrac{D - d}{2l} = \dfrac{50 - 45}{2 \cdot 50} = 0{,}05;$

a 0,05 corresponde según la tabla de tangentes un ángulo de 5° 44′.

Torneado de conos

Los cuerpos de revolución de forma cónica pueden ser obtenidos por distintos procedimientos.

Torneado de conos con el carro superior (fig. 3.7)

El carro superior ha de desplazarse en la dirección horizontal de la generatriz del cono. El procedimiento se presta para el mecanizado de conos delgados y truncados. Como el avance ha de ser accionado a mano, puede resultar poco limpia la superficie de la pieza. El recorrido lateral del carro es limitado y por esta razón no se pueden, por lo general, tornear más que conos cortos.

Ajuste del carro superior con ayuda del limbo graduado (figura 3.7). El carro superior se hace girar a partir de su posición cero el valor del ángulo de ajuste y se fija con el tornillo correspondiente.

Ajuste del carro superior con ayuda de un modelo (figura 3.8). Como muestra o modelo puede servir, por ejemplo, un calibre macho cónico. En el portaherramientas

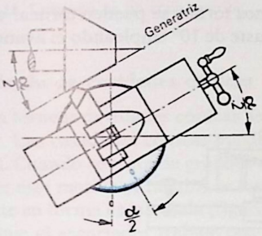


Figura 3.7 Torneado de un cono con el carro superior.

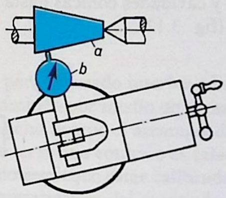


Figura 3.8 Ajuste según muestra. *a*) Muestra; *b*) comparador.

se sujeta un comparador que toque con su palpador la superficie lateral de la pieza colocada como modelo. Al mover el carro superior, convenientemente desplazado, a lo largo de la generatriz del modelo, la aguja del amplificador no deberá acusar desviación alguna.

Torneado de conos con desplazamiento del punto del cabezal móvil (fig. 3.10)

La pieza se coloca entre puntos. Si el punto del cabezal móvil está desplazado lateralmente respecto al centro, al moverse el carro portaherramientas longitudinalmente, da lugar a una forma cónica (figs. 3.9 y 3.10). El desplazamiento del punto del cabezal móvil no debe ser superior a 1/50 de la longitud de la pieza, ya que en caso contrario las puntas tendrían una posición muy forzada (fig. 3.11). Por esta razón no se emplea el procedimiento nada más que para tornear conos largos y estrechos. Tiene la ventaja de que se puede trabajar con el avance automático.

Cálculo del desplazamiento V. Hay que distinguir dos casos:

a) La distancia entre puntos L coincide con la longitud l del cono (esto sucede pocas veces) (fig. 3.9).

b) La longitud l del cono es más corta que la separación L entre puntos (fig. 3.10).

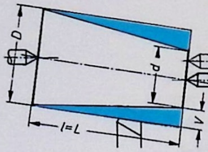


Figura 3.9 Longitud del cono igual a la separación entre puntos.

$$V = \frac{D-d}{2}$$

Ejemplo $D = 60$ mm, $d = 56$ mm

$$V = \frac{D-d}{2} = \frac{60-56}{2} = 2 \text{ mm}$$

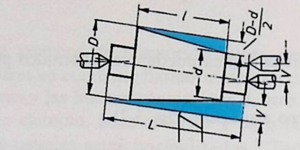


Figura 3.10 Longitud del cono menor que la distancia entre puntos.

$$V = \frac{D-d}{2} \cdot \frac{L}{l}$$

Ejemplo $D = 50$, $d = 47$, $l = 100$, $L = 200$

$$V = \frac{D-d}{2 \cdot l} \cdot L = \frac{50-47}{2 \cdot 100} \cdot 200 = 3 \text{ mm}$$

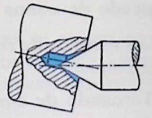


Figura 3.11 Cuando el desplazamiento del cabezal móvil es muy grande, la posición del punto resulta muy forzada. Un remedio para esto es el empleo de puntos esféricos o el de centrado con superficies abombadas de deslizamiento.

Torneado cónico con ayuda de la regla de guía

Con la regla de guía de que van provistos algunos tornos se pueden tornear cuerpos cónicos y cavidades cónicas hasta un ángulo de ajuste de 10° empleando el avance automático (fig. 3.12).

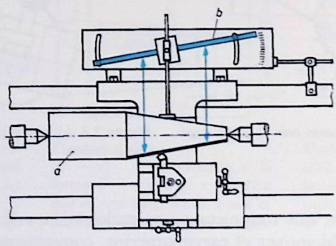


Figura 3.12 Torneado cónico con regla de guía. *a*) Pieza a tornear; *b*) regla de guía.

La regla de guía puede oscilar en un carrillo alrededor de un perno. Mediante una biela de tracción y un brazo o caballete se une el carrillo a la bancada del torno. El carro de bancada o principal se mueve longitudinalmente. La regla de guía situada en posición oblicua obliga entonces al carro transversal a realizar al mismo tiempo un movimiento en dirección transversal y para que pueda tener lugar este movimiento hay que independizar el husillo que da lugar ordinariamente a ese movimiento transversal. Para ajustar el espesor de viruta se gira el carro superior 90°.

Ajuste de la regla de guía. Sobre el carro del dispositivo para torneado cónico se halla un arco graduado. La regla se ajusta de acuerdo con el ángulo de ajuste y se fija en esa posición por medio de dos tornillos.

Normas de trabajo para el torneado cónico

1. Colóquese el filo del útil de tornear exactamente a la altura de los puntos, pues de lo contrario el cono no resultará correcto, aun cuando sea exacta la posición del carro superior, del cabezal móvil o de la regla de guía.
2. Cuando se tornea un cono con el carro superior entre puntos, éstos deben tener los ejes exactamente coincidentes, pues en caso contrario y aunque el carro superior esté correctamente ajustado, el cono resultante no saldrá exacto.
3. Cuando haya que tornear diversas piezas cónicas iguales con la punta del cabezal móvil desplazada, habrán de ser iguales la longitud de las piezas y la profundidad de los puntos de centrado.
4. Cuando se usa la regla de guía hay que atender a que el engrase de las partes móviles sea bueno.

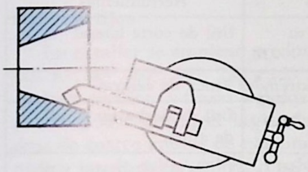


Figura 3.13 Torneado de un cono interior.

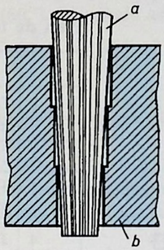


Figura 3.14 Taladrado previo escalonado en el caso de grandes cavidades cónicas. *a*) Escariador cónico; *b*) pieza.

Mecanizado de cavidades cónicas

Para tornear cavidades cónicas se emplean útiles para torneado interior o barras de tornear. Las cavidades cónicas pueden conseguirse también por medio de escariadores cónicos. Cuando se trata de grandes conos llevaría mucho tiempo el arranque del material. Por este motivo el taladro se tornea previamente en forma cónica o se taladra previamente en forma escalonada (figura 3.14). Los escalones deben estar calibrados de tal forma que el escariador trabaje con uniformidad y que después del escariado desaparezcan por completo las partes taladradas previamente. Los conos pequeños y largos no se hacen por taladrado previo en escalones.

MECANIZADO DE CONTRAPUNTOS

Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado. Mecanizado de un contrapunto (fig. 3.15).

La observación que se ve en el plano «Cotas sin tolerancia $\pm$ 0,5» significa que para las cotas en que no se especifica la tolerancia (cotas libres) hay que considerar como aceptable una tolerancia de $\pm$ 0,5 mm.

Como material para el contrapunto está prescrito el C 100 W 1. Esta designación quiere decir acero de herramientas* con 1 % de C y calidad 1.

Al mecanizar contrapuntos hay que tener en cuenta, sobre todo, además del buen ajuste del cono Morse, la coincidencia del eje de la punta con el del mango cónico. Por

* *N. del T.:* La letra W es inicial de la palabra alemana *Werkzeugstahl* = acero de herramientas.

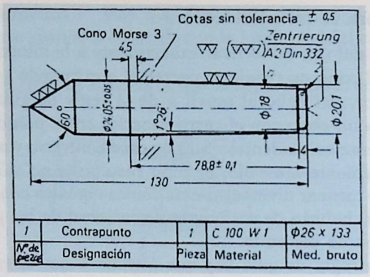
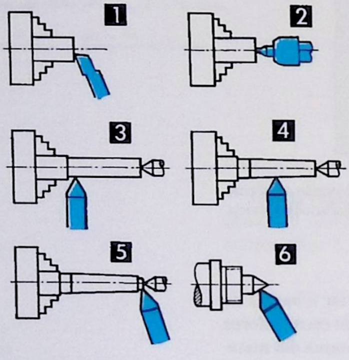


Figura 3.15 Plano de taller.



Plan de trabajo

	Fases del trabajo	Herramientas
1	Torneado de la pieza a su longitud debida	Útil de corte lateral
2	Centrado de uno de los extremos	Broca de centrar
3	Torneado previo y final a Ø 24,05	Útil de desbastar y útil de afinar
4	Torneado previo y final del cono Morse	Útiles de desbastar y de afinar
5	Torneado a Ø 18 y torneado del redondeamiento	Útil de afinar y útil de mano
6	Torneado previo y final de la punta	Útiles de desbastar y de afinar
7	Templar la punta y rectificar	

Instrumentos de medida y de verificación: Regla metálica, calibre micrométrico, pie de rey, calibre de redondeamientos, transportador universal, calibre casquillo Morse 3.

esta razón, para tornear la punta se introduce el mango cónico en el alojamiento cónico del husillo de trabajo, en caso necesario utilizando un casquillo intermedio.

Medición y verificación del contrapunto

El diámetro y la longitud se miden con el calibre micrométrico (pálmer) o con el pie de rey. La punta cónica puede medirse con el transportador de ángulos (fig. 3.16). Para verificar el mango cónico se emplea un calibre cono Morse 3 (fig. 3.17).

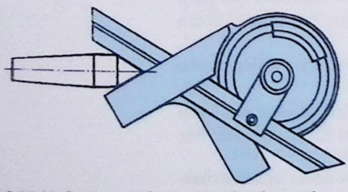


Figura 3.16 Medición con el transportador de ángulos universal.

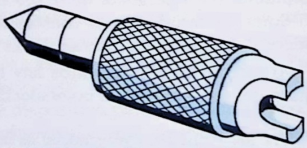


Figura 3.17 Verificación con el calibre cónico.

Medición y verificación de ángulos

Se entiende por ángulo la diferencia de direcciones de dos rectas que parten de un mismo punto. En las piezas aparecen los ángulos con diferencias de direcciones de superficies y de aristas.

Como unidad de ángulo se considera aquella para la cual la relación de longitud entre «arco circular y radio de la circunferencia correspondiente» tiene el valor 1. La unidad se llama radián (símbolo = rad). El ángulo recto es igual a $\pi/2$ veces el valor del radián ($\pi/2$ rad).

El grado (símbolo: °) es la nonagésima parte del ángulo recto: $1° = \pi/180$ rad; (1 rad = 57,29...°). El grado centesimal (en símbolo 1^g) es igual a la centésima parte del ángulo recto ($90° = 100^g$).

En fabricación se indican generalmente los ángulos en «grados antiguos»: 1 grado (1°) = 60 minutos (60'); 1 minuto (1') = 60 segundos (60''). El «grado antiguo» puede también dividirse decimalmente, por ejemplo 3°30' = 3,5°.

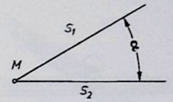


Figura 3.18 El ángulo α es la diferencia de direcciones de S_1 y S_2. *M* es el vértice, S_1 y S_2, los lados.

Ángulos fijos

En el taller se emplean predominantemente magnitudes de ángulos fijos, por ejemplo 30°, 45°, 60°, 90°, 120°, 135°.

Para verificar y trazar ángulos rectos se utiliza la escuadra de 90° (fig. 3.20). Con objeto de poder satisfacer las distintas condiciones de precisión exigidas existen escuadras de cuatro grados de exactitud: las llamadas escuadras de filo, las escuadras normales, las de taller del n.° I y las de taller del n.° II.

Durante el uso no debe ladearse la escuadra (figura 3.22). Las discrepancias se denotan por el procedimiento de la rendija de luz.

Para la verificación se emplean también plantillas de ángulos muy diversos, de acuerdo con el de la pieza que se quiere verificar (figura 3.25).

Es necesario a su vez verificar las escuadras y las plantillas de cuando en cuando porque las superficies o cantos de medición se desgastan con el uso (fig. 3.21).

Las **plantillas de ángulos** (fig. 3.26) son bloques de acero que materializan determinadas magnitudes angulares por medio de la colocación de las superficies de medición. Están escalonadas por magnitudes formando juegos. Juego con 14 magnitudes angulares: 1°, 3°, 5°, 15°, 30°, 45°; 1', 3', 5', 10', 25', 40'; 20'', 30''. Con estas piezas puede componerse cualquier ángulo desde 0° hasta 90° escalonados de 10 en 10''.

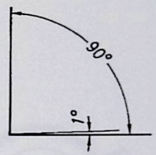


Figura 3.19 Un grado (1°) es la nonagésima parte de un ángulo recto.

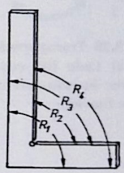


Figura 3.20 De las cuatro posibilidades de verificación los ángulos R_1 y R_2 son más exactos que los R_3 y R_4.

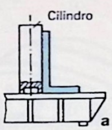


Figura 3.21 Verificación de un ángulo.

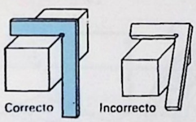


Figura 3.22 Verificación con la escuadra de 90°.



Figura 3.23 Verificación con la plantilla de 135°.

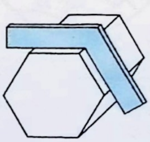


Figura 3.24 Verificación con la plantilla de 120°.

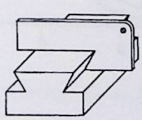


Figura 3.25 Verificación con una plantilla determinada.

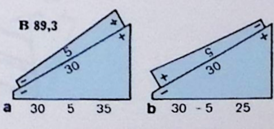


Figura 3.26 Combinación de plantillas de angulares. *a*) El valor del ángulo resulta por adición, *b*) El valor del ángulo resulta por substracción.

La falsa escuadra (fig. 3.27) tiene lados movibles y se utiliza para transportar y comparar ángulos cualesquiera.

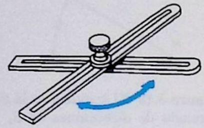


Figura 3.27 Falsa escuadra universal.

Aparatos de medición de ángulos con graduación

Para realizar la medición numérica de la magnitud de un ángulo se utilizan instrumentos llamados transportadores, provistos de un arco de circunferencia dividido en grados.

El transportador simple u ordinario (fig. 3.28) hace posible la lectura de grados enteros. Con los buenos transportadores se pueden apreciar incluso cuartos de grado.

El manejo del instrumento exige alguna atención. Si, por ejemplo, se aplica la pieza sobre el lado izquierdo del lado móvil del transportador (fig. 3.29), hay que restar de 180° el valor leído para obtener el valor del ángulo que se mide.

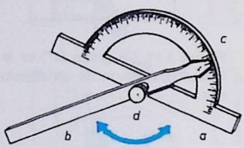


Figura 3.28 Transportador ordinario. *a*) Lado fijo con escala graduada; *b*) lado móvil; *d*) tornillo de fijación.

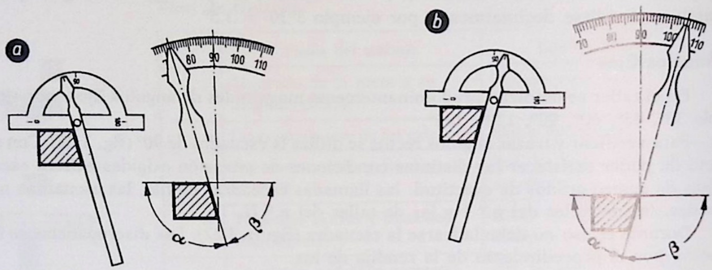


Figura 3.29 Medición con el transportador ordinario. *a*) Valor leído ∢ β = 72°, ∢ α = 180 − 72° = 108°; *b*) valor leído ∢ β = 105°, ∢ α = 180 − 105 = 75°.

El transportador universal (fig. 3.30) está fabricado para dar mayor precisión en las medidas que el transportador simple y tiene muchas más aplicaciones que éste.

Por medio de una escala auxiliar (*nonio* o *vernier*) se aumenta la exactitud de la lectura a 5 minutos. El lado móvil del instrumento puede adaptarse a cualquier ángulo. La división principal está dividida en 4 cuadrantes de 90°.

El nonio abarca 23° a derecha e izquierda del punto cero. Estos 23 grados están divididos en 12 partes iguales. Cada parte vale, por lo tanto, $23 \frac{11}{12}$ °. Cuando, por ejem-

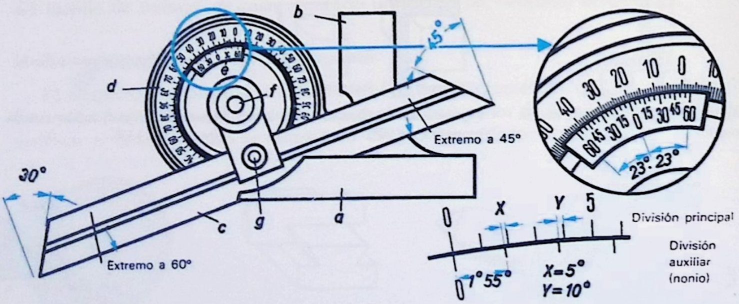


Figura 3.30 Transportador universal. *a*) Lado principal fijo; *b*) lado auxiliar fijo; *c*) lado móvil; *d*) escala principal, unida al lado fijo; *e*) escala auxiliar (nonio) unida al lado móvil; *f*) tornillo principal de fijación; *g*) tornillo de fijación para el lado móvil.

plo, coincide el punto cero del nonio con el punto cero de la división principal, se tiene entre los trazos inmediatos del nonio y de la escala principal una diferencia de $\frac{1}{12}{}^{\circ} = 5'$; por esta razón pueden apreciarse con este instrumento ángulos de 5'.

Medición con el transportador universal. Los grados completos se leen sobre la graduación principal hasta el trazo cero del nonio (figuras 3.31 a 3.34). El sentido de lectura puede ser hacia la derecha o hacia la izquierda. Al leer los minutos del ángulo se va a partir del cero del nonio en la misma dirección que se sigue para leer los grados (figura 3.31 a 3.34).

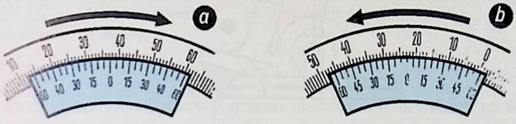


Figura 3.31 Sentidos de lectura en el transportador universal. *a*) Sentido de lectura hacia la derecha: valor leído 37° 20'; *b*) sentido de lectura hacia la izquierda: valor leído 22° 40'.

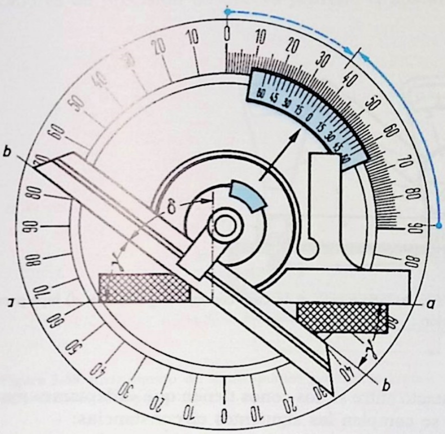


Figura 3.32 Colocación del transportador universal y posición de partida al medir. *a*) Canto de aplicación del lado fijo; *b*) canto de aplicación del lado móvil. Lectura ∢ γ: posición de partida 0°, hacia la derecha, γ = 37° 20'. Lectura ∢ δ: posición de partida 90° hacia la izquierda, δ = 52° 40' (contando a partir de 90°).

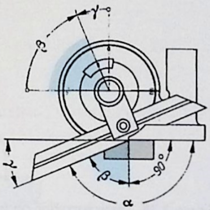


Figura 3.33 cuando se trata de la lectura de ángulos obtusos (α) la posición de partida es siempre 90°, porque se descomponen en un ángulo recto y uno agudo (β). Lectura ∢ β: posición de partida 90°, hacia la derecha; β = 67° 20'. α = 90° + β = 90° + 67° 20' = 157° 20'. Lectura ∢ γ: posición de partida 0°, hacia la izquierda; γ = 22° 40'. α = 180° − γ = 180° − 22° 40' = 157° 20'.

Transportador óptico (fig. 3.35)

Para la lectura se utiliza una lupa. La exactitud de la lectura es de 5 minutos.

Medición y calibrado de conos

Un ajuste impecable de un cono exterior con el cono interior correspondiente no se produce nada más que cuando las superficies interior del primero y exterior del se-

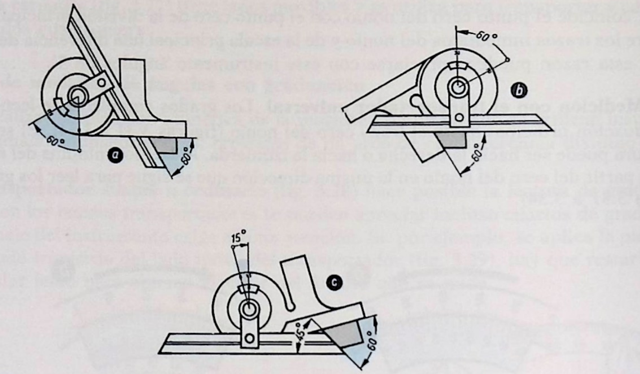


Figura 3.34 *a*) Empleo del lado principal fijo. Posición de partida 0°, girando hacia la derecha 60°; *b*) empleo del lado auxiliar fijo, posición de partida 90° girando hacia la izquierda. 30°; *c*) empleo del extremo cortado a 45° en el lado móvil; posición de partida 0°, con sentido hacia la derecha hasta 15°. Al valor leído se le añaden 45°.

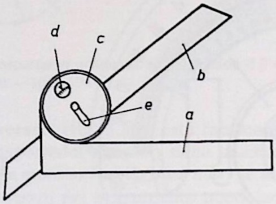


Figura 3.35 Transportador óptico. *a*) Lado fijo; *b*) lado móvil; *c*) carcasa con escala graduada; *d*) lupa para lectura de la escala; *e*) palanquita de fijación.

gundo están completamente en contacto entre sí; los conos tienen que «adaptarse» mutuamente. Este es el caso cuando se cumplen las siguientes circunstancias:

Diámetros y longitudes tienen que tener la magnitud deseada; los ángulos o convergencias (las conicidades) de ambos conos tienen que coincidir.

Las discrepancias de forma (abombamiento, concavidad) no deben influir sobre su mutua «adaptación».

La superficie exterior del cuerpo cónico (calibre macho o pieza cónica) se provee, en la dirección del eje longitudinal, de dos trazos de lápiz desplazados en 90° uno de otro. Después de meter el cuerpo cónico en la cavidad cónica correspondiente, se hacen girar un poco la pieza y el calibre en sentidos encontrados, ejerciendo además una ligera presión sobre ellos. Los trazos deben borrarse uniformemente, y si no ocurre esto será prueba de que la superficie cónica es irregular.

Para la verificación pueden emplearse también calibres «cónicos» planos (figura 3.38). En estos calibres se compara el cono por el procedimiento de la rendija de luz con una superficie trapecial limitada por dos reglas. Ambas reglas se ajustan de acuerdo con un cono normal o por medio de dos discos de medidas convenientes.

Figura 3.36 Calibrado de conos exteriores con el calibre cónico. *a*) Pieza con el cono exterior, *b*) calibre cónico, *c*) marcas de tolerancia, *d*) trazo para prueba por roce.

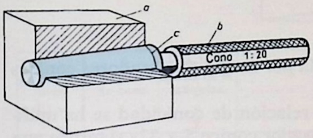


Figura 3.37 Calibrado de cavidades cónicas con el calibre cónico macho. *a*) Pieza, *b*) calibre cónico macho, *c*) marca.

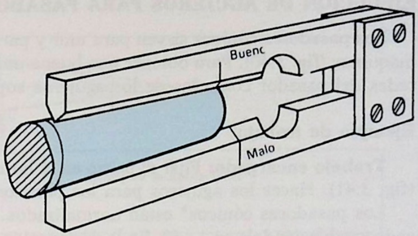


Figura 3.38 Calibre plano para calibrar conos por el procedimiento de la rendija de luz.

Disponiendo marcas de «bueno» y «malo» se convierte el calibre en un calibre de tolerancia.

El *aparato de contrapuntos gemelos* (fig. 3.39) se ajusta de acuerdo con un calibre cónico macho. Las discrepancias respecto a los diámetros ajustados se leen en los indicadores de precisión de que va provisto el aparato.

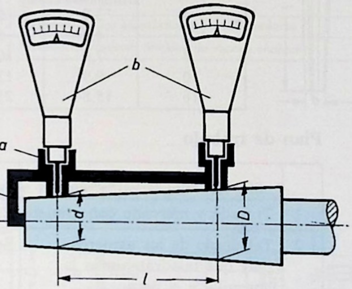


Figura 3.39 Instrumento de contrapuntos gemelos Mikrotast. *a*) Soportes unidos por puente; *b*) indicador de precisión; *c*) tope.

Para *medir* diámetros y longitudes de los conos son apropiados los instrumentos de medición graduados (pie de rey, tornillo micrométrico). El ángulo del cono (la conicidad) se puede medir con instrumentos para medición de ángulos. Mediante el *calibrado* con calibres para conos se pueden tomar simultáneamente el diámetro, la longitud, el ángulo de conicidad y las discrepancias de forma. Es menos engorroso este procedimiento que la medición y, sobre todo, es usual en el caso de conos normalizados, como los de las herramientas. Para el calibrado de conos exteriores se emplean calibres cónicos (fig. 3.36) y para el calibrado de conos interiores calibres cónicos machos (figura 3.37). Las marcas constituidas por trazos hacen posible la limitación de lo admitido como bueno y lo que es inadmisible, o desperdicio.

Antes de proceder a la comprobación hay que limpiar perfectamente la superficie de la pieza y la del calibre. La uniformidad del cono se comprueba por medio del trazado de rayas.

EJECUCIÓN DE AGUJEROS PARA PASADORES CÓNICOS

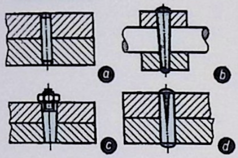


Figura 3.40 Uniones por medio de pasadores. *a*) Pasador cilíndrico; *b*) pasador cónico; *c*) pasador cónico con espiga roscada (la rosca sirve para extraer el pasador); *d*) pasador cónico hendido.

Los pasadores cónicos sirven para unir y para afianzar la posición de elementos de máquinas (fig. 3.40). Para obtener una buena unión ajustada han de tener tanto las paredes del pasador como las de los agujeros superficies bien lisas.

Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado: Fijar el perno en la horquilla por medio de pasadores cónicos (fig. 3.41). Hacer los agujeros para los pasadores.

Los pasadores cónicos* están normalizados. La relación de conicidad se ha unificado estableciéndola en 1 : 50. En la designación «pasador cónico 5 × 32» significa que 32 es la longitud y 5 el diámetro del pasador en mm. La medida nominal del diámetro se refiere al extremo delgado del pasador, ya que esta medida es la única que tiene importancia para el taladrado del agujero, que es igual para todas las longitudes de pasadores en *un mismo* diámetro nominal.

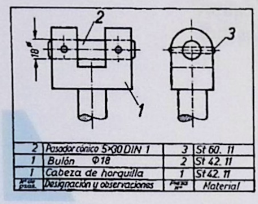


Figura 3.41 Plano de taller.

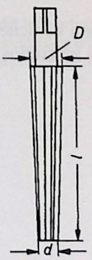
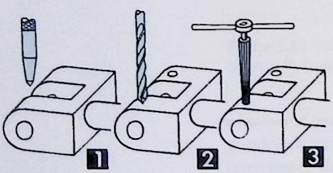


Tabla 3.1. Tamaños de escariadores para pasadores cónicos

Pasador cónico d	Medidas de los escariadores en mm d_1	d_2	l_2
2	1,9	2,86	48
3	2,9	4,16	63
4	3,9	5,40	75
5	4,9	6,64	87
8	7,9	10,72	141
10	9,9	13,13	163
16	15,84	21,12	264



Plan de trabajo

	Fases del trabajo	Herramientas
1	Trazado y marcado con granete	Escuadra, gramil, granete
2	Taladrado de los agujeros (hay que taladrar juntos la horquilla y el perno)	Broca helicoidal 4,5 SS
3	Escariado de los agujeros	Escariador cónico 5
Instrumentos de medida: pie de rey, regla de acero		

Mecanizado de los agujeros para pasadores

Los agujeros se taladran previamente al diámetro menor y se escarian a mano con el escariador para taladros de pasador. Los escariadores para taladros de pasador pequeños son de cinco aristas y los mayores son de dientes rectos o helicoidales.

Verificación de agujeros para pasadores cónicos

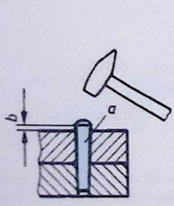
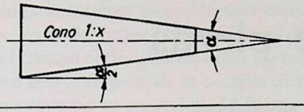


Figura 3.42 Introducción del pasador. *a*) Pasador cónico; *b*) exceso para el apriete.

El pasador se introduce con el martillo. Con objeto de que quede suficientemente firme en su alojamiento, antes de esto tiene que poderse meter a mano hasta que su casquete quede 3 a 4 mm por encima del borde del agujero (figura 3.42).

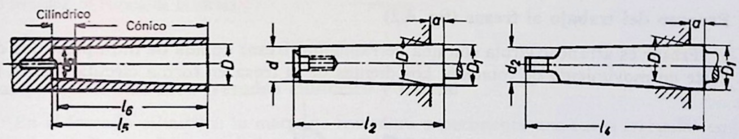
* *Prontuario de metales*. Editorial Reverté, S.A., Barcelona.

Tabla 3.2 Conos según DIN 254 (Extracto)



Cono 1 : x	Ángulo de cono α	Ángulo de ajuste en la máquina $\frac{\alpha}{2}$	Ejemplos de aplicaciones
1 : 0,289	120°	60°	Avellanamiento protector para taladros de centrado
1 : 0,500	90°	45°	Cono de válvula, enlaces en vástagos de émbolo
1 : 0,866	60°	30°	Cono de cierre hermético para roscas ligeras de tubo; ranuras en V; taladros de centrado; puntas de granete
1 : 1,50	36° 52′	18° 26′ 6″	Cono de cierre hermético para roscas fuertes de tubo.
1 : 3,429	16° 36′	8° 18′	Cono del husillo de fresar DIN 209, fresas DIN 2080
1 : 4,074	14°	7° 7′ 30″	Cabezas husillo y bridas sujeción en construcción de máquinas-herramientas
1 : 5	11° 25′	5° 42′ 38″	Extremo inferior de pivotes verticales, acoplamientos a fricción, elementos de máquina fácilmente desmontables por solicitación normal al eje y por rotación
1 - 6	[illegible]	4° 45′ 49″	Conos de grifería, pernos de cruceta para locomotoras
·1 : 10	[illegible]	2° 51′ 45″	Pernos de acoplamiento, cajas de cojinete ajustables, elementos de máquinas sometidas a esfuerzos transversales a su eje, a torsión y longitudinalmente
1 : 15	[illegible]	1° 54′ 33″	Vástagos de émbolos de locomotora, cubos de hélices de buques
Véase cono Morse DIN 228			Mangos de herramienta y conos de acoplamiento en los husillos de las máquinas-herramienta
1 : 20	[illegible]	1° 26′ 56″	
1 : 30	1° [illegible] 34″	57′ 17″	Taladros de los escariadores y avellanadores
1 : 50	1° 8′ 46″	34′ 23″	Pasadores cónicos, núcleos de roscas cónicas

Tabla 3.3. Mangos cónicos de herramientas según DIN 228



Designación		Cono métrico 4	Cono métrico 6	Cono Morse 0	Cono Morse 1	Cono Morse 2	Cono Morse 3	Cono Morse 4	Cono Morse 5	Cono Morse 6	Cono métrico 80
Cavidad	D	4	6	9,045	12,065	17,780	23,825	31,267	44,399	63,348	80
	d_5	3	4,6	6,7	9,7	14,9	20,2	26,5	38,2	54,8	71,4
	l_5	25	34	52	56	67	84	107	135	187	202
	l_6	21	29	49	52	63	78	98	125	177	186
Mango	D_1	4,1	6,15	9,212	12,240	17,981	24,051	31,543	44,731	63,759	80,4
	d	2,85	4,40	6,453	9,396	14,583	19,784	25,933	37,574	53,905	70,2
	l_2	25	35	53	57	68	85	108	136	189	204
	d_2	—	—	6,115	8,972	14,059	19,132	25,154	36,547	52,419	69
	l_4	—	—	59,5	65,5	78,5	98	123	155,5	217,5	228
	a	2	3	3,2	3,5	4	4	5,3	6,3	7,9	8
Cono		1 : 20		1:19,212	1:20,048	1:20,020	1:19,922	1:19,254	1:19,002	1:19,180	1:20
Ángulo de ajuste $\frac{\alpha}{2}$		1° 25′ 56″		1° 29′ 27″	1° 25′ 43″	1° 25′ 50″	1° 26′ 16″	1° 29′ 15″	1° 30′ 26″	1° 29′ 36″	1° 25′ 56″

Capítulo 4

Fresado de piezas

Algunas piezas fresadas importantes

Mediante fresado puede proveerse a piezas de los más diversos materiales como, por ejemplo, acero, fundición de hierro, metales no férricos y materiales sintéticos, de superficies planas o curvas, de entalladuras, de ranuras, de dentados, etc. (figura 4.1). La superficie de las piezas fresadas puede ser desbastada o afinada. Las piezas que hayan de tener mejor calidad superficial, como, por ejemplo, las guías de máquinas-herramienta, se acaban frecuentemente por rectificado.

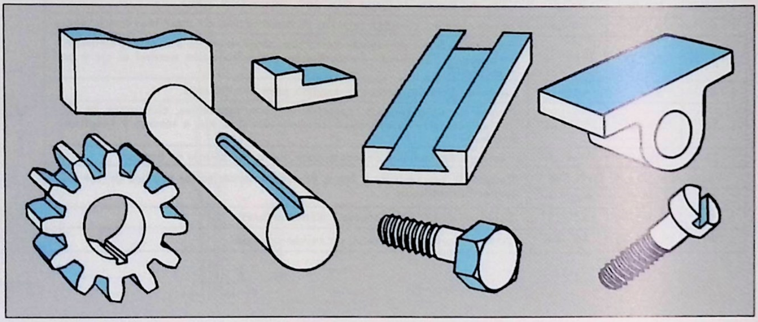


Figura 4.1 Ejemplos de piezas fresadas.

Proceso del trabajo al fresar (fig. 4.2)

Fresar es arrancar viruta con una herramienta (fresa) dotada de múltiples filos de corte en movimiento de rotación. Los dientes de la fresa en forma circular tienen la

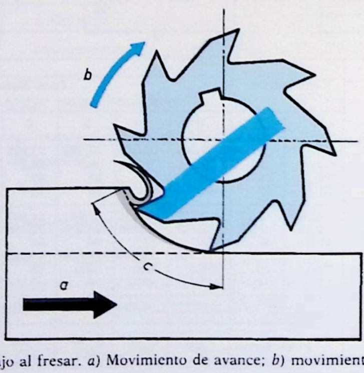


Figura 4.2 Proceso del trabajo al fresar. *a)* Movimiento de avance; *b)* movimiento principal; *c)* camino de trabajo de un diente de fresa.

forma de cuñas cortantes. La fresa realiza el *movimiento circular de corte.* Los *movimientos de avance y de aproximación* son realizados por la pieza que se trabaja. Cuando se fresa, cada filo no está constantemente en acción sino únicamente durante una parte de la revolución de la fresa. Es decir, no está el filo o diente constantemente dedicado a arrancar viruta. El resto del tiempo el filo gira en vacío y puede refrigerarse. El trabajo del útil no es por lo tanto tan fuerte como el de la cuchilla de torno o el de la broca helicoidal cuyos filos están constantemente en acción. La fuerza de arranque de viruta no es siempre la misma, de modo que pueden producirse vibraciones que perjudican tanto a la máquina como a la herramienta y a la superficie que se trabaja.

Procedimientos de fresado

Fresado cilíndrico y fresado frontal

En el **fresado cilíndrico** el eje de la fresa se halla dispuesto paralelamente a la superficie de trabajo en la pieza. La fresa es de forma cilíndrica y arranca las virutas con los filos de su periferia (fig. 4.3). Las virutas producidas tienen forma de coma.

En el **fresado frontal** el eje de la fresa es normal a la superficie de trabajo (fig. 4.4). La fresa no sólo corta con filos de su periferia, sino también con dientes frontales. Las virutas son de espesor uniforme.

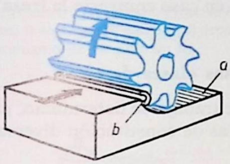


Figura 4.3 Fresado cilíndrico. *a*) Superficie de la pieza trabajada (frecuentemente con ondulaciones del fresado), *b*) Forma de la viruta.

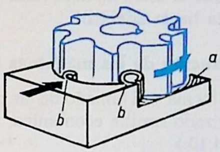


Figura 4.4 Fresado frontal. *a*) Superficie trabajada (no existen ondulaciones de fresado); *b*) forma de la viruta.

Comparación entre los fresados cilíndrico y frontal

En el fresado cilíndrico la máquina fresadora experimenta una carga irregular en virtud de la forma de coma de las virutas. Es difícil evitar un ligero golpe en la periferia, cuya consecuencia es una señal ondulada que se forma a cada revolución de la fresa. En el fresado frontal cada diente arranca una viruta de espesor uniforme. La carga de la fresadora es por esta razón uniforme. El rendimiento de viruta es, por lo general, un 15 a 20 % más alto que en el fresado cilíndrico. El pequeño golpe que pueda producirse en la periferia de la fresa frontal no tiene influencia alguna sobre la lisura de la superficie y las superficies obtenidas presentan por eso una superficie más lisa. Siempre que sea posible deben mecanizarse las superficies planas mediante fresado frontal.

Fresado de contramarcha y fresado en favor del avance

El movimiento de avance en el fresado cilíndrico tiene lugar generalmente *contra* el sentido de giro de la fresa, pero puede verificarse también en el *mismo* sentido que éste (fig. 4.5). Se distinguen, de acuerdo con esto, el fresado en contra y a favor del avance.

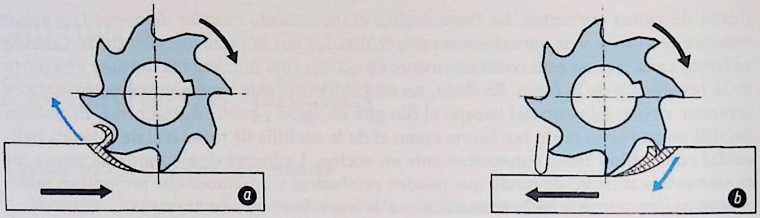


Figura 4.5 Movimiento de avance en el fresado cilíndrico. *a*) Fresado de contramarcha; *b*) fresado en favor del avance.

El *fresado de contramarcha* es el procedimiento corrientemente empleado en el fresado cilíndrico. La viruta se arranca aquí primeramente por el sitio más delgado. Antes de que los dientes de la fresa penetren en el material, resbalan sobre la superficie que se trabaja. Con esto se produce un fuerte rozamiento. El esfuerzo de corte tiende a levantar la pieza.

En el *fresado en favor del avance* los filos de la fresa atacan la viruta por su sitio más grueso. Como la pieza es fuertemente presionada contra su apoyo, se presta el procedimiento para el fresado de piezas delgadas. Se emplean también grandes profundidades de corte. La máquina debe, sin embargo, ser apropiada para este modo de trabajar. Ante todo la mesa no debe tener juego alguno, pues en caso contrario la fresa tiraría de la pieza hacia adentro.

Constitución de las máquinas de fresar y distintas clases de éstas

La forma y el tamaño de las piezas que hayan de trabajarse determinan, para que el mecanizado resulte económico, máquinas fresadoras de constitución diversa. (figuras 4.7 a 4.10.)

Máquina fresadora horizontal

Esta máquina se presta para toda clase de trabajos de fresado. Su característica es el husillo de fresar dispuesto horizontalmente.

El **cuerpo de la fresadora** soporta el husillo de fresar horizontalmente dispuesto, los accionamientos principal y de avance, la mesa de consola móvil con carro transversal y mesa fresadora y el carnero, que suele ir apoyado en un soporte.

El husillo de fresar es soportado por cojinetes de fricción o de rodadura. Para garantizar un funcionamiento sin vibraciones se realiza en dimensiones que le den robustez. Para sujetar el útil de fresar, la cabeza del husillo tiene un cono exterior y un cono interior.

El mecanismo del accionamiento principal da al husillo de fresar el movimiento de corte o movimiento principal. Con objeto de que la fresa pueda funcionar con la velocidad de corte más apropiada, el número de revoluciones es variable. Las máquinas son la mayoría accionadas por un motor eléctrico y a través de juegos de ruedas dentadas se pueden conseguir hasta 12 o más números de revoluciones accionando una palanca.

Mecanismo de accionamiento del avance. La pieza se sujeta a la mesa de fresar. Para poderla acercar a la fresa, la consola se desplaza *en altura*, el carro transversal lo hace en sentido *lateral* y la mesa de fresar en sentido *longitudinal*. Para conseguir estos

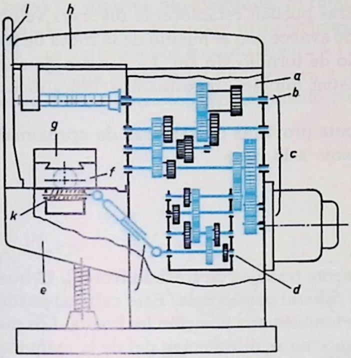


Figura 4.7 Partes principales de una máquina fresadora horizontal. *a*) Cuerpo de la fresadora; *b*) husillo de trabajo o de fresar; *c*) accionamiento principal; *d*) accionamiento del avance; *e*) consola móvil; *f*) carro transversal; *g*) mesa de fresar; *h*) carnero; *i*) soporte del carnero; *j*) árbol extensible; *k*) mecanismo de tornillo sin fin.

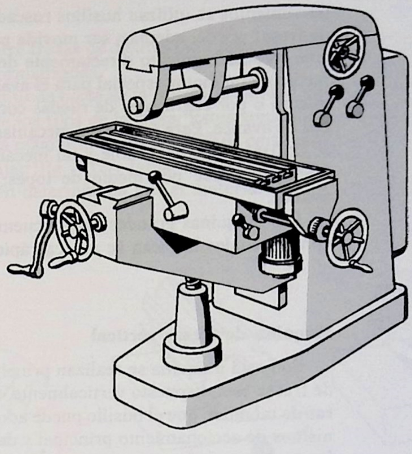


Figura 4.6 Máquina fresadora horizontal.

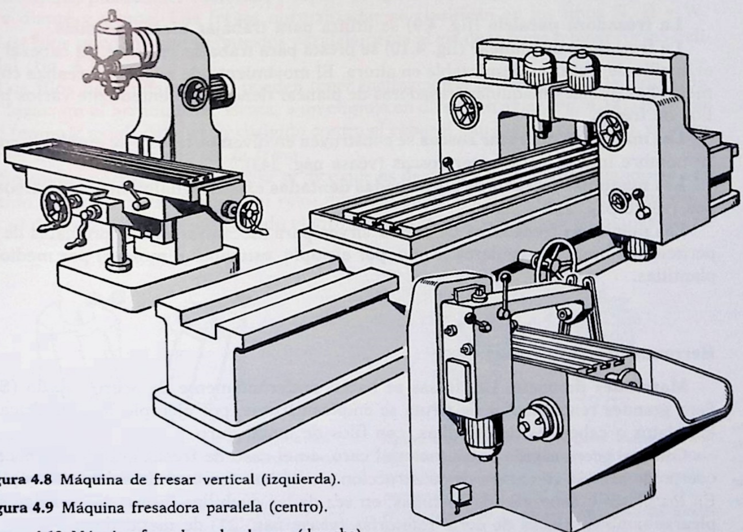


Figura 4.8 Máquina de fresar vertical (izquierda).

Figura 4.9 Máquina fresadora paralela (centro).

Figura 4.10 Máquina fresadora de planear (derecha).

movimientos se utilizan husillos roscados accionados a mano con manivelas. La mesa de fresar puede, además, ser movida por medio de un mecanismo de avance. Éste recibe su accionamiento directamente del mecanismo de accionamiento principal o por medio de un motor especial para el avance. Por medio de cuñas o trinquetes de acoplamiento o por engranajes de ruedas correderas pueden establecerse diversas velocidades de avance. Para enlace del mecanismo de avance con el husillo de la mesa de fresar se utiliza un eje extensible y un mecanismo de tornillo sin fin. La carrera de avance puede limitarse por medio de topes. Existen también mecanismos hidráulicos de avance.

Las máquinas grandes van frecuentemente provistas de carreras de aproximación con las cuales la pieza se acerca rápidamente a la fresa.

Máquina de fresar vertical

Con esta máquina se realizan principalmente trabajos de fresado frontal. El husillo de fresar está dispuesto verticalmente en el cabezal portafresas. Este cabezal puede girar de tal modo que el husillo puede adoptar también una posición inclinada. Los mecanismos de accionamiento principal y de avance no se diferencian del de la máquina de fresar horizontal.

Máquina de fresar universal

La característica principal de esta máquina es la de que la mesa de fresar puede girar hacia la derecha o hacia la izquierda. Con esto se hace posible la ejecución de muchos más trabajos, como, por ejemplo, el fresado de ranuras en espiral.

Otras máquinas de fresar especiales

La fresadora paralela (fig. 4.9) se utiliza para trabajar piezas pesadas.

La fresadora de planear (fig. 4.10) se presta para trabajos en serie. El cabezal con el husillo de fresar es desplazable en altura. El movimiento de avance se realiza con la mesa. Las grandes máquinas fresadoras de planear tienen frecuentemente varios husillos de fresar.

Las máquinas de fresar roscas se construyen en diversos tipos y se emplean, como su nombre indica, para fresar roscas (véase pág. 243).

Las máquinas fresadoras para ruedas dentadas existen igualmente en diversos tipos (véase pág. 255 y sig.).

Las máquinas fresadoras de copiar sirven para mecanizar piezas provistas de superficies de límites irregulares (como, por ejemplo, estampas o moldes) por medio de plantillas.

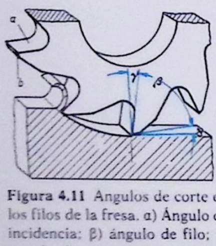


Figura 4.11 Angulos de corte en los filos de la fresa. α) Ángulo de incidencia; β) ángulo de filo; γ) ángulo de ataque; *a*) superficie de ataque; *b*) superficie de incidencia.

Herramientas para fresar

Materiales de corte. Las fresas se hacen preferentemente de acero rápido (SS). Para grandes rendimientos de viruta se emplean fresas, por ejemplo las cilíndricas y los platos o cabezales de cuchillas, con filos de metal duro.

Como el acero rápido es un material caro, en el caso de fresas grandes se hace el cuerpo de la fresa con acero de construcción y se le insertan cuchillas de acero rápido. En los platos o cabezales de cuchillas, en vez de las cuchillas insertadas pueden emplearse también placas de corte rotatorias (véase pág. 21) de metal duro.

Clases de fresas

Según la forma de los dientes se distingue entre fresas de dientes puntiagudos y fresas con despulla. La mayoría de ellas están normalizadas.

Fresas de dientes puntiagudos. El rendimiento de corte de la fresa y la calidad superficial de la pieza dependen principalmente de los filos de la fresa. Éstos son cuneiformes y se obtienen por fresado (figura 4.11). La magnitud de los ángulos de corte está relacionada con el material que se vaya a trabajar (fig. 4.12 y tabla 4.1, pág. sig.). La distancia o paso entre los dientes queda también determinada por el material (figura 4.12).

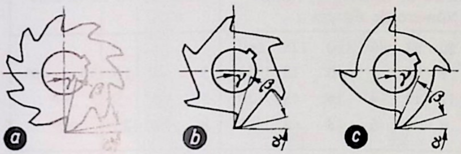


Figura 4.12 Ángulos de corte y paso entre dientes para trabajo de diferentes materiales. *a*) El paso pequeño es apropiado para fresado de acero duro; *b*) un paso medio conviene para fresado de acero blando; *c*) el paso grande es adecuado para fresar metal ligero.

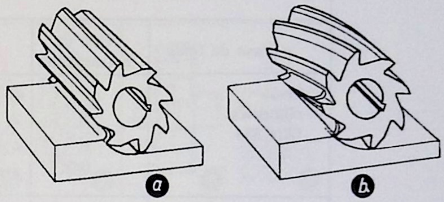


Figura 4.13 Disposición de los filos. *a*) Los dientes rectos (paralelos al eje de la fresa) abarcan la viruta en toda su anchura. En virtud de esto, la fresa trabaja a golpes. El rendimiento del corte es reducido; *b*) Los dientes helicoidales trabajan con menos vibración, más suave. Cuando sale un diente del material, hay otro que está empezando a cortar. Las virutas van separándose a un lado.

Al fresar materiales blandos se pueden producir, por ejemplo, grandes cantidades de viruta que pueden ser recibidas y separadas gracias a los grandes huecos existentes entre diente y diente. Las fresas normalizadas se clasifican en los tipos N, H y W.

Los filos pueden estar dispuestos paralelamente al eje de la fresa o tener forma helicoidal (fig. 4.13).

Los filos helicoidales, que pueden tener inclinación a la derecha o a la izquierda, dan lugar, en el arranque de viruta, a un empuje en dirección axial (fig. 4.14). Este empuje (empuje axial) debe estar dirigido contra el cabezal, pues, de lo contrario, se soltaría del husillo el vástago de la fresa.

Según las normas DIN, la fresa se dice que es de corte a la izquierda cuando gira en sentido contrario a las agujas del reloj mirándola desde el lado del accionamiento, y que es de corte a la derecha cuando el giro es en el mismo sentido de las agujas del reloj.

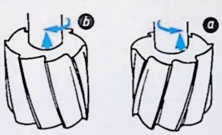


Figura 4.14 Dirección del corte e inclinación del filo. *a*) Hélice a la derecha – corte a la izquierda; *b*) hélice a la izquierda – corte a la derecha.

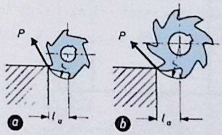
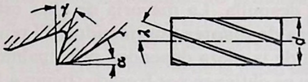


Figura 4.15 Las fresas de pequeño diámetro resultan ventajosas. *a*) Recorrido (l_a) pequeño, momento de torsión pequeño (momento de torsión = presión del corte × radio de la fresa, o sea, $M = P \cdot r$); *b*) recorrido l_a grande, momento de torsión grande.

Tabla 4.1. Valores normativos para número de dientes y ángulos de corte en fresas

α = ángulo de incidencia
γ = ángulo de ataque
λ = ángulo de inclinación del filo respecto al eje
d_1 = diámetro de la fresa en mm
z = número de dientes



Tipo de herramienta N: Para aceros ordinarios de construcción (aceros con resistencia a la tracción hasta 1 kN/mm²), fundición gris blanda, metales no férreos de dureza media.
Tipo de herramienta H: Para materiales especialmente duros y tenaces
Tipo de herramienta W: Para materiales de especial blandura y tenacidad

Clase de fresa	Tipo de herramienta	Diámetro de la fresa d_1 (mm) Número de dientes z											Ángulos en las fresas α	γ	λ
Fresa cilíndrica DIN 884		d_1	40	50	63	80	100	125	160						
	N	z	6	6	8	8	10	12	14				5 ... 8°	10°	35 ... 40°
	H	z	10	12	12	14	16	18	20				3 ... 5°	5°	30°
	W	z	4	4	6	6	8	8	10				8 ... 12°	25°	45°
Fresa frontal cilíndrica DIN 1880		d_1	40	50	63	80	100	125	160						
	N	z	8	8	10	12	14	16	18				5 ... 8°	10°	20 ... 25°
	H	z	16	16	18	20	24	26	28				3 ... 5°	5°	15°
	W	z	4	5	6	8	10	10	12				8 ... 12°	22°	30°
Fresa de disco DIN 885		d_1	50	63	80	100	125	160	200						
	N	z	8	10	10	12	14	16	18				5 ... 8°	10°	15 ... 20°
	H	z	14	16	16	20	24	26	28				3 ... 5°	5°	10°
	W	z	6	6	6	8	10	10	10				8 ... 12°	25°	20 ... 30°
Fresa angular DIN 842		d_1	40	50	63	80	100	125	160						
	N	z	12	14	16	18	20	22	24				5 ... 8°	0°	0°
	W	z	6	6	6	8	10	10	12				8 ... 12°	20°	8 .. 15°
Fresa de vástago DIN 844, 845 (Extracto)		d_1	3	5	8	10	16	20	25	32	40	63			
	N	z	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	8 ... 10°	10°	20°
	H	z	6	6	6	8	10	10	10	12	12	12	4 ... 6°	5°	15°
	W	z	3	3	3	3	3	4	4	5	5	–	8 ... 12°	20°	30°
Fresa de vástago para ranuras en T DIN 851 (Extracto)		d_1	12,5	16	22	25	32	40	50	63	75	85			
	N	z	8	8	10	10	12	12	12	14	14	14	5 ... 8°	10°	. . 10°

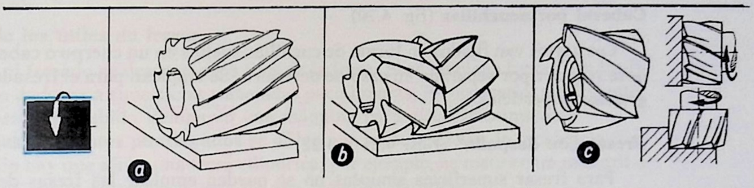


Figura 4.16 Fresas cilíndricas y fresas frontales cilíndricas. *a*) Las *fresas cilíndricas* tienen filos únicamente en su periferia. Se utilizan para desbastar y afinar superficies planas con la fresadora horizontal; *b*) Las *fresas cilíndricas acopladas*, con dientes helicoidales de sentidos opuestos, tienen la ventaja de que el empuje axial queda en ellas parcialmente compensado; *c*) Las *fresas frontales cilíndricas* tienen dientes no solamente en la periferia, sino también en una de las caras frontales. Se prestan estas fresas para trabajar superficies planas y rebajos en ángulo recto, tanto con la fresadora horizontal como con la vertical.

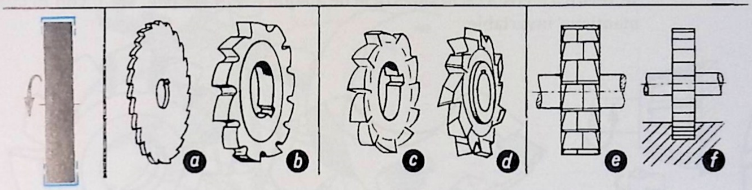


Figura 4.17 Las fresas en forma de disco se utilizan para fresar entalladuras estrechas. *a*) La *sierra circular* se utiliza para cortar piezas y para hacer ranuras estrechas como, por ejemplo, en las cabezas de los tornillos; *b*) Las *fresas para ranurar* con dientes rectos sirven para fresar ranuras planas. Con objeto de evitar el roce lateral, estas fresas van ahuecadas con la muela por ambos lados; *c*) Las *fresas de disco* de dientes triangulares son apropiadas para chaveteros más profundos; *d*) Las *fresas de dientes cruzados* van provistas de filos dirigidos alternativamente a la derecha y a la izquierda; *e*) Las *fresas de discos acoplados* en ranuras pueden, después de haber sido afiladas, volver a su primitiva anchura mediante interposición de las convenientes arandelas; *f*) *Fresa de disco* en posición de trabajo. Denominación para una fresa de disco (*A*) de dientes ranurados, de 50 mm de diámetro y 10 mm de ancho de tipo N: Fresa disco A 50 × 10 N DIN 885.

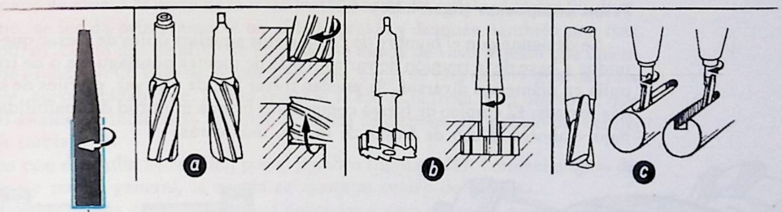


Figura 4.18 Fresa con vástago. *a*) Las *fresas de vástago* son fresas frontales cilíndricas de pequeño diámetro. El vástago o mango sirve para sujeción. Las fresas de vástago con corte a la derecha y hélice a la derecha o las de corte a la izquierda con hélice a la izquierda, pueden salirse del husillo como consecuencia del empuje axial. Para evitar esto, el mango de la fresa va provisto de una rosca de aprieto que sirve para fijarla en el husillo de fresar. Los mangos de fresa provistos de lengüeta de arrastre no se usan generalmente nada más que para cortes ligeros; *b*) Las *fresas de vástago* se prestan para fresar ranuras en T; *c*) Las *fresas para agujeros rasgados* tienen dos filos y se utilizan para el fresado de chaveteros y de agujeros rasgados. Denominación de una fresa de vástago con rosca de aprieto (*B*): Fresa con mango B 20 N DIN 845.

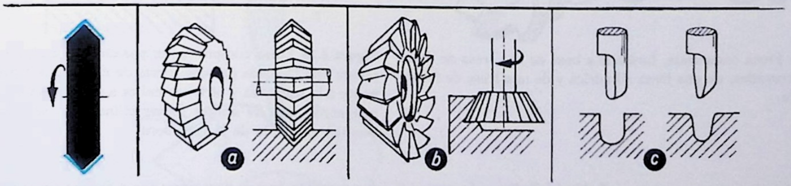


Figura 4.19 Fresa de forma. *a*) Las *fresas angulares* son necesarias para la ejecución de guías prismáticas; *b*) La *fresa frontal angular* se utiliza para el mecanizado de guías en ángulo; *c*) Las *fresas de un solo filo* se utilizan para pequeños trabajos de fresado de forma.

Cabezal portacuchillas (fig. 4.20)

Los cortes van fijados en forma de cuchillas sueltas en un cuerpo o cabezal, pudiéndose reponer por separado en caso de deterioro. Se emplean para el fresado frontal de grandes superficies.

Fresas con despulla* (figs. 4.21 y 4.22)

Para fresar superficies sinuosas no se pueden emplear las fresas de dientes en punta, ya que al afilar la fresa se cambiaría su perfil. Para curvas, arcos circulares y toda clase de perfiles, así como, con frecuencia, también para fresado de ranuras, se emplean estas fresas de forma retorneadas. El retorneado resulta necesario para mantener el ángulo de incidencia. El ángulo de ataque vale, generalmente, 0°. El reafilado se verifica a costa de la superficie de ataque (fig. 4.26, pág. sig.), con lo cual el perfil se mantiene invariable.

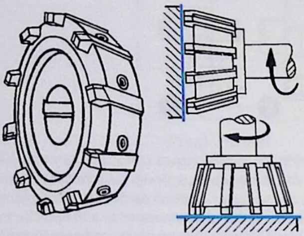


Figura 4.20 Cabezal portacuchillas.

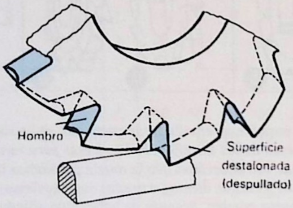


Figura 4.21 Forma de los filos en una fresa con despulla.

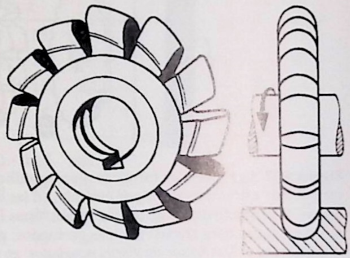


Figura 4.22 Fresa de forma con despulla.

Fresa compuesta (figs. 4.23 y 4.24)

Se designan con el nombre de compuestos aquellos útiles de fresar que están constituidos a base de la reunión de varias fresas de dientes puntiagudos o de fresas con despulla en diámetros diversos. Se pueden fresar así, de una vez, perfiles de las más variadas formas. El empleo de fresas compuestas brinda multitud de posibilidades en el trabajo y ahorra el uso de fresas de forma, más caras.

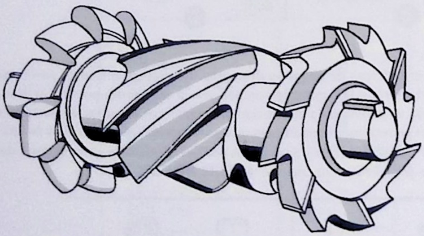


Figura 4.23 Fresa compuesta, formada a base de una fresa de disco de dientes cruzados, de una fresa cilíndrica y de una fresa de forma con despulla.

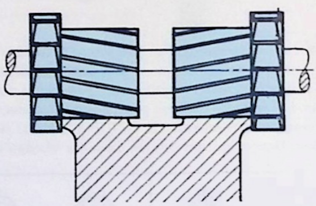


Figura 4.24 Fresa compuesta en posición de trabajo. La fresa compuesta está formada por dos fresas de disco, una fresa cilíndrica con hélice a la izquierda y otra con hélice a la derecha. En virtud del sentido encontrado de ambas fresas cilíndricas, se elimina el empuje axial en el husillo de la fresadora.

* *N. del T:* Estas fresas se llaman también fresas destalonadas o fresas retorneadas de perfil constante.

Cuidados de los útiles de fresar

Durante el fresado se desgastan los filos de la fresa. Si se emplean fresas con los filos romos se da lugar a superficies trabajadas poco limpias. Es necesario, por lo tanto, afilar la fresa a su debido tiempo en una máquina para afilar herramientas.

Las fresas de dientes puntiagudos se afilan por las superficies de incidencia (fig. 4.25). Cuando hay que afilar una fresa cilíndrica, por ejemplo, se mete en un mandril o espiga que se sujeta entre las puntas de una máquina de afilar.

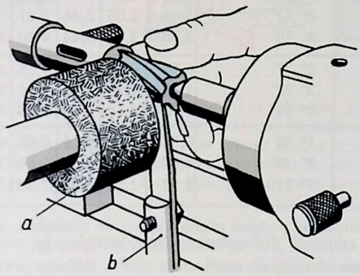


Figura 4.25 Afilado de una fresa cilíndrica. *a)* Muela de vaso; *b)* apoyo de los dientes.

Al afilar se aprieta la fresa con una mano sobre el apoyo dispuesto para los dientes. Con la otra mano se mueve la mesa de la fresa por delante de la muela. A todos los dientes, uno a uno, se les da primeramente un afilado previo y después, también uno tras otro, el definitivo. Como útil de afilar se emplea una muela de vaso. Puesto que únicamente se debe afilar con un lado de la muela de vaso, el eje de ésta deberá guardar una inclinación de, aproximadamente, 3° con relación al eje de la fresa. Con objeto de que se obtenga el ángulo de incidencia correcto la muela se dispone por debajo del centro en el valor h (tabla 4.2).

Las fresas con despulla se reafilan por el hombro (figura 4.26). Como el ángulo de ataque no existe por lo general, la muela se ajusta al centro de la fresa.

Los filos de las fresas de disco son muy delicados y para evitar su deterioro no deben ponerse sobre un fondo duro.

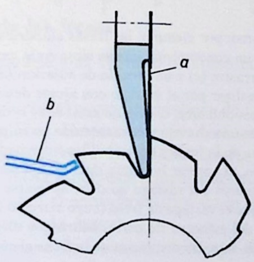
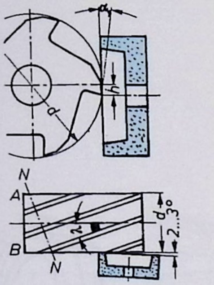


Figura 4.26 Afilado de una fresa con despulla. *a)* Muela de plato; *b)* apoyo del diente.

Tabla 4.2 Cota *h* para la colocación de la muela en el afilado de las fresas

Ángulo de inclinación de la hélice λ	Ángulo de incidencia	Ángulo de incidencia en el plano frontal	Diámetro de las fresas *d*, en mm 40	50	60	75	90	110	130	150
			Cota de colocación o ajuste *h*, en mm							
0°	3°	3°	1,05	1,31	1,57	1,96	2,36	2,88	3,40	3,90
	5°	5°	1,74	2,18	2,61	3,27	3,92	4,78	5,67	6,54
	7°	7°	2,44	3,05	3,66	4,57	5,48	6,70	7,92	9,14
20°	3°	2° 49′	0,98	1,23	1,47	1,84	2,21	2,70	3,19	3,68
	5°	4° 42′	1,64	2,05	2,46	3,07	3,69	4,51	5,33	6,14
	7°	6° 35′	2,29	2,87	3,44	4,30	5,16	6,30	7,45	8,60
45°	3°	2° 7′	0,74	0,92	1,11	1,38	1,66	2,03	2,40	2,77
	5°	3° 32′	1,23	1,54	1,85	2,31	2,77	3,39	4,00	4,61
	7°	4° 58′	1,73	2,16	2,60	3,24	3,89	4,76	5,63	6,49
60°	3°	1° 30′	0,52	0,65	0,78	0,98	1,18	1,44	1,70	1,96
	5°	2° 30′	0,87	1,09	1,31	1,64	1,96	2,40	2,83	3,27
	7°	3° 31′	1,23	1,53	1,84	2,30	3,76	3,37	3,99	4,60

Con acero de herramientas y acero rápido: disco de corindón, afilado normal. 46 ... 60, J ... L, afilado fino 60, K ... M
Con metal duro: muela de carburo de silicio, afilado previo: 60 J
afilado final: 80 ... 100, G ... H



α = ángulo de incidencia eficaz medido normalmente al filo (plano *N* – *N*); α_1 = ángulo de incidencia no eficaz en el caso de fresas con dientes oblicuos, medido el ángulo en el plano frontal *A* – *B*.

Sujeción de las fresas

La fresa debe trabajar sin sacudidas, pues de lo contrario se desgastan rápidamente los dientes más salientes, con lo cual el tiempo de duración resulta acortado. Aparte

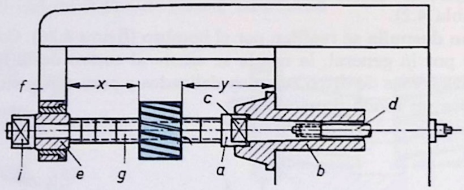


Figura 4.27 Las *fresas con agujero* como, por ejemplo, las fresas cilíndricas, se fijan en un vástago de fresa (*a*). Este vástago lleva en un extremo un cono normal que se aloja en la cavidad cónica del husillo de fresar (*b*). Por medio de las superficies de arrastre (*c*) y un tornillo de sujeción (*d*) queda asegurado que el vástago no se suelte. La fresa debe poderse deslizar por el vástago con ajuste deslizante. Metiéndola a la fuerza podría romperse. En las muelas de dientes oblicuos, el empuje axial debe ir dirigido contra el husillo de fresar. La fresa se fija al vástago por medio de una chaveta y es mantenida en su posición mediante anillos intermedios (*g*). Entre las superficies frontales de la fresa y de los anillos intermedios no deben quedar interpuestos cuerpos extraños, pues de lo contrario, al apretar la tuerca del vástago (*i*), podría curvarse este último y la fresa funcionaría con sacudidas. La tuerca del vástago no debe apretarse sino cuando el contrasoporte (*f*) esté colocado y bien afianzado. Para que el vástago de fresa (cuyo extremo izquierdo va dentro de un cojinete [*e*]), no se flexe como consecuencia del esfuerzo de corte, habrá que elegir para él un diámetro bastante grande dentro de lo posible. Además de esto, las distancias de la fresa al contrasoporte y al cabezal principal (*x*, *y*) habrán de ser pequeñas.

esto, cuando una fresa gira excéntricamente, es decir, cuando no gira bien redonda como corrientemente se dice en los talleres, cada diente trabaja a distinta profundidad, con lo cual se producen ondulaciones en la superficie de la pieza que se mecaniza. La sujeción de la fresa es una operación que hay que realizar con el mayor cuidado (figs. 4.27 a 4.30).

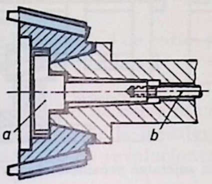


Figura 4.28 Los *cabezales portacuchillas grandes* se aplican sobre el cono exterior del husillo de fresar. Para conseguir una sujeción fuerte con el husillo de fresar, se utilizan el perno de arrastre (*a*) y el tornillo de sujeción (*b*).

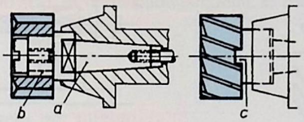


Figura 4.29 Los *cabezales portacuchillas pequeños* y las fresas frontales cilíndricas se fijan a un vástago (*a*) que se introduce en ellas, bien por medio de una chaveta de ajuste (*b*) o bien por medio de una transversal (*c*).

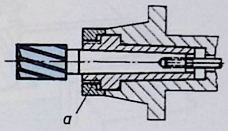


Figura 4.30 Cuando se trata de *fresas de vástago* con vástago cónico se introduce éste en el taladro cónico del husillo de fresar y se fija con un tornillo. Para sujetar fresas pequeñas se utiliza un manguito intermedio (*a*).

Verificación del giro concéntrico (giro redondo). Cuando gira la fresa no debe presentar una desviación superior a 0,05 mm. Para efectuar la verificación se emplea el comparador. Para ello se hace girar el husillo lentamente a mano (fig. 4.31).

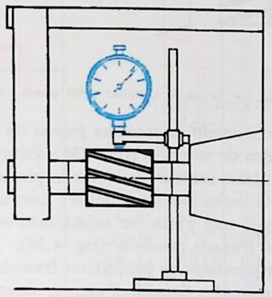


Figura 4.31 Verificación del giro redondo.

Normas para la sujeción de las fresas

1. Escójase la fresa adecuada y el vástago de fresa conveniente sin olvidar la chaveta.
2. Protéjase contra deterioros el cono del vástago de fresa y el del husillo de fresar.
3. Antes de montar las piezas, límpiense cuidadosamente las superficies de ajuste, por ejemplo, el vástago de fresa, la cavidad cónica del husillo de fresar, los anillos intermedios y la fresa (interesa sobre todo para obtener el giro redondo).
4. Compruébese si coinciden el sentido de giro de la fresadora y el de los filos de la fresea (peligro de rotura de fresa).
5. Compruébese si, en el caso de fresas con dientes oblicuos, el empuje axial va dirigido contra el husillo de fresar.



Sujeción de las piezas

Las piezas tienen que estar sujetas de modo firme y seguro. Si se aflojan mientras se trabajan puede inutilizarse o romperse la fresa.

Las piezas sueltas se sujetan en el tornillo o mesa de la máquina por medio de bridas y tornillos de sujeción (figs. 4.32 a 4.35).

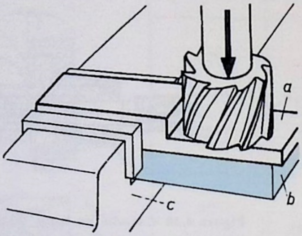


Figura 4.32 Las piezas delgadas deben protegerse contra la flexión. *a*) Pieza; *b*) pieza de apoyo; *c*) tornillo de la máquina.

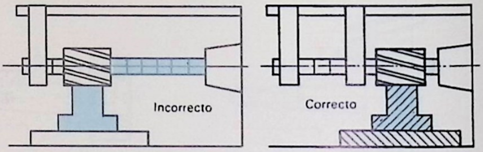


Figura 4.33 Las piezas deben sujetarse próximas al cuerpo o columna de la máquina.

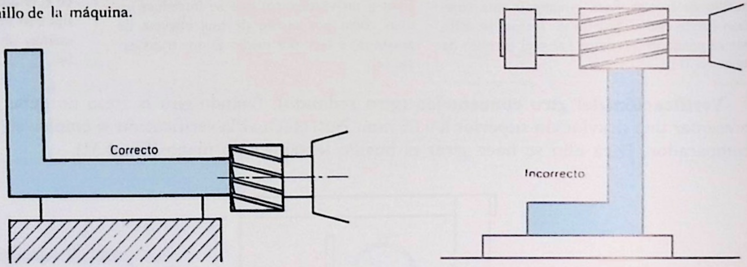


Figura 4.34 La superficie que se ha de trabajar debe quedar tan baja como sea posible.

Cuando se trata del mecanizado de muchas piezas de la misma naturaleza se emplean dispositivos o montajes de sujeción (fig. 4.36). Estos tienen la ventaja de que se ahorra uno el tener que ajustar, centrar y nivelar la pieza cada vez. Para economizar tiempo se suelen preparar a veces montajes dobles, con los que se tiene la ventaja de que mientras la fresa trabaja una pieza, se sujeta otra en el segundo. Este procedimiento de trabajo se llama *fresado pendular* (fig. 4.36).

Las piezas que han de ir provistas de superficies fresadas distribuidas regularmente como, por ejemplo, tuercas, ruedas dentadas, etc., se sujetan con ayuda del cabezal divisor (véase página 165).

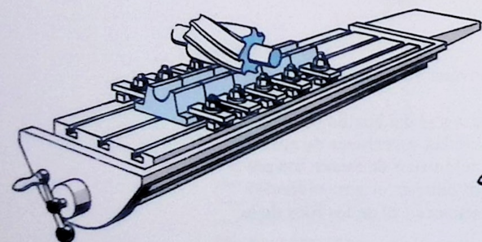


Figura 4.35 Sujeción de varias piezas.

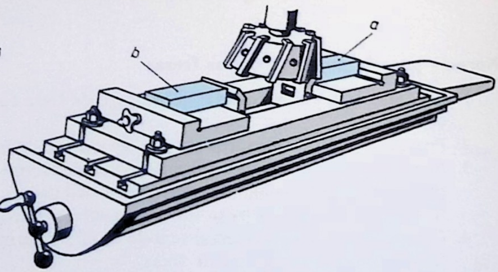


Figura 4.36 Fresado pendular. Mientras se fresa la pieza *a*, se sujeta la pieza *b*.

Ajuste del número de revoluciones

El número de revoluciones depende de la velocidad de corte admitida y del diámetro de la fresa. En el fresado se entiende por velocidad de corte el recorrido de un filo de la fresa en m/min. La velocidad de corte admisible se toma de la tabla que se da a continuación (tabla 4.3).

Si la velocidad de corte es demasiado grande, los dientes se embotan prematuramente.

Si la velocidad de corte, por el contrario, es demasiado pequeña, el rendimiento del fresado será pequeño.

v = velocidad de corte m/min.
d = diámetro de la fresa en mm.
n = número de revoluciones de la fresa por minuto.

El número de revoluciones de la fresa por minuto será $$n = \frac{v \cdot 1000}{\pi \cdot d}$$

Tabla 4.3 Valores normativos para velocidad de corte (v) y avance por diente de la fresa (s_z)

Material	Fresa de acero rápido							Metal duro		
	v en m/min	s_z = mm/diente						v en m/min	s_z = mm/diente	
		Fresa cilíndrica	Fresa frontal cilíndrica	Fresa de disco	Fresa de vástago	Fresa de forma	Cabezal portacuchillas		Fresa cilíndrica	Cabezal portacuchillas
Fundición gris GG–15	18–22	0,2	0,15	0,07	0,07	0,07	0,3	55–65	0,2	0,3
Fundición gris GG–25	16–20	0,2	0,15	0,07	0,07	0,07	0,3	45–60	0,2	0,3
Fundición maleable GTW–40	16–20	0,2	0,2	0,07	0,07	0,07	0,3	45–60	0,15	0,2
Acero, p. ej.: St 50	20–24	0,2	0,15	0,07	0,06	0,07	0,3	80–120	0,15	0,2
Acero, p. ej.: St 60	18–20	0,15	0,1	0,06	0,06	0,06	0,2	70–100	0,15	0,2
Acero, p. ej.: St 70	12–16	0,1	0,1	0,06	0,06	0,06	0,2	60–100	0,15	0,2
Acero, p. ej.: 31 Ni Cro 14	12–16	0,15	0,1	0,1	0,06	0,06	0,15	60–90	0,1	0,15
Acero, p. ej.: 35 Ni Cro 18	10--14	0,1	0,1	0,07	0,05	0,05	0,1	60–90	0,1	0,1
Fund. de acero, p. ej.: GS–45	16–20	0,15	0,15	0,07	0,07	0,07	0,2	50–80	0,15	0,2
Bronce, p. ej.: GB_z 14	40–50	0,15	0,15	0,07	0,07	0,07	0,2	80–100	0,15	0,2
Latón, p. ej.: Ms 60	50–60	0,2	0,2	0,07	0,07	0,07	0,3	100–120	0,2	0,3
Aluminio Al	250–350	0,1	0,1	0,07	0,07	0,07	0,15	400–800	0,1	0,2
Fund. de aluminio	250–350	0,1	0,1	0,07	0,07	0,07	0,15	400–600	0,15	0,2
Materiales sintéticos	55–70	0,15	0,15	0,7	0,07	0,07	0,15	160–200	0,2	0,3

Elección de la velocidad de corte v: Para el afinado, valores aproximadamente un 25 % más altos que los indicados en la tabla.

Elección del avance por diente s_z: Para el afinado, valores aproximadamente un 25 % más bajos.

La **velocidad de avance** v' se da en mm/min. Puede calcularse cuando se conocen de la fresa el avance por diente s_z, el número de dientes z y el número de revoluciones/-minuto n.

Ejemplo: Cálculo de $v' \cdot s_z = 0{,}1$ mm, $z = 8$, $n = 90$/min.

Solución: $v' = 0{,}1 \text{ mm} \cdot 8 \cdot 90/\text{min} = 72 \text{ mm/min}$.

Ejemplo Se trata de mecanizar, mediante fresado de desbastado, una placa empleando una fresa cilíndrica. Queremos calcular el número de revoluciones de la fresa.

Datos: Material de la placa St 60.

Diámetro de la fresa 80 mm.

Solución Velocidad de corte, según la tabla 4.3, igual a 18 m/min.

$$n = \frac{v \cdot 1000}{\pi \cdot d} = \frac{v \cdot 1000 \cdot 18 \text{ m/min}}{3{,}14 \cdot 80 \text{ mm}} \approx 72 \text{ rev/min.}$$

En una fresadora no se puede disponer, por lo general, nada más que de un cierto número de velocidades determinadas, por ejemplo 37 – 49 – 64 – 86 – 11[illegible] – 147 – 197 – 260 – 338 – 455 – 600 – 700 revoluciones por minuto.

En el caso del ejemplo anterior escogeríamos el número de revoluciones n = 64 rev/-min.

El número de revoluciones puede sacarse también de una tabla, como la 4.6, de la página 167.

Ajuste del avance

El avance se da en el fresado por medio de la velocidad de avance en mm/min. Se entiende por este avance el recorrido en mm que realiza la mesa fresadora, y con ella la pieza, en un minuto (fig. 4.37).

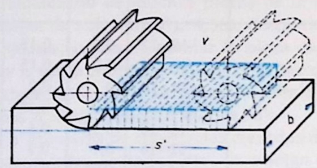


Figura 4.37 Formación de viruta al fresar. a = profundidad de corte o de fresado (en mm); b = anchura de fresado (en mm); s' = velocidad de avance (en mm/min). V = cantidad de viruta.

La velocidad de avance (s') viene obligada por la fresa, el material de la pieza, la profundidad de corte y la calidad superficial que se desee (tabla 4.3). Para evitar que la máquina se sobrecargue, se calcula a veces la velocidad de avance admisible. Se parte para ello de la cantidad máxima de viruta que puede arrancar la fresa en un minuto. Por medio de experiencias se ha fijado la cantidad máxima de viruta en cm^3 por kilowatio de potencia en la máquina (tabla 4.8, página 168).

V = volumen máximo posible de viruta en cm^3/min.

V' = volumen máximo de viruta en cm^3/kWmin (véase tabla. 4.8).

P = potencia de la máquina en kW.

El volumen máximo posible de viruta por minuto se obtiene multiplicando la cantidad admisible por la potencia de la máquina.

Volumen máximo posible de viruta en cm³/min. $\boxed{V = V' \cdot P}$

Ejemplo: Para el fresado cilíndrico de acero St 50 la cantidad de viruta admisible es de 12 cm³/kW min (tabla 4.8).

¿Qué volumen de viruta será posible arrancar por minuto con una fresadora de 2,5 kW de potencia?

Solución: $V = V' \cdot P = 12$ cm³/kW min · 2,5 kW = 30 cm³/min.

El volumen de viruta V (fig. 4.37) puede también calcularse partiendo de la profundidad de corte (a), la anchura de corte (b) y la velocidad de avance (s').

$$V = \frac{a \cdot b \cdot s'}{1000} \text{ en cm}^3\text{/min;}$$

de esta ecuación se deduce

Velocidad de avance en mm/min $\boxed{s' = \frac{V \cdot 1000}{a \cdot b}}$

Ejemplo: Una placa de St 50 debe trabajarse con fresa cilíndrica. Profundidad de corte 4 mm, anchura de la fresa 80 mm, potencia de la máquina, 3 kW. Se quiere calcular la velocidad máxima posible de avance.

Solución: 1. Volumen máximo posible de viruta:

$V = V' \cdot P$; $V' = 12$ cm³kW min

$V = 12$ cm³/kW min · 3 kW = 36 cm³/min

2. Velocidad de avance

$$s' = \frac{V \cdot 1000}{a \cdot b};\ s' \frac{36 \text{ cm}^3\text{/min} \cdot 1000}{4 \text{ mm} \cdot 80 \text{ mm}} 112 \text{ mm/min.}$$

En la fresadora no puede, por lo general, disponerse sino de un determinado número de velocidades de avance, por ejemplo, 12 – 20 – 33 – 57 – 99 – 167 – 276 – 480 mm/min. Habrá, por lo tanto, que escoger en este caso la velocidad de 99 mm/min.

Fresado de desbastado y de afinado (fig. 4.38)

En el *fresado de desbastar* se trata de eliminar el exceso de material en el tiempo más corto posible. Por esta razón se elige una velocidad de avance grande. Para el trabajo siguiente de acabado se deja de 0,5 a 1 mm de material. Con vistas a la conservación de la fresa se elige una velocidad de corte pequeña (tabla 4.3).

Mediante el *fresado de acabado* debe obtener la pieza sus dimensiones finales y la calidad superficial deseada. Para esto es necesaria una mayor velocidad de corte y una velocidad de avance pequeña. Cuando el exceso de material no es demasiado grande, la pieza puede obtener sus dimensiones definitivas y su calidad superficial con *una sola pasada.* En este caso se eligen unos valores intermedios para las velocidades de corte y de avance.

Lubricación refrigerante durante el fresado (fig. 4.39; tabla 4.7, pág. 168).

Una buena lubricación refrigerante se traduce en mejora de la calidad superficial y mayor duración de la fresa. Aparte esto, el medio refrigerante, proyectado con un cho-

rro fuerte sobre el punto de corte, arrastra las virutas que se desprenden de modo que éstas no quedan enganchadas entre la superficie de trabajo y los dientes de la fresa.

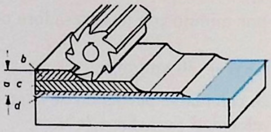


Figura 4.38 Fresados de desbastar y de afinar. *a*) Exceso para el mecanizado; *b*) primera pasada de desbastado; *c*) segunda pasada de desbastado; *d*) pasada de afinado (0,5 a 1 mm de profundidad).

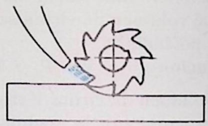


Figura 4.39 Refrigeración durante el fresado.

Normas para el fresado

1. Escójase para el trabajo la máquina adecuada.
2. Escójanse los útiles de fresar adecuados.
3. Vigílese que la fresa gire redonda.
4. No deben emplearse fresas embotadas.
5. La pieza debe quedar firmemente sujeta y bien segura, pero sin deformarla; empléense los tornillos de sujeción adecuados.
6. Establézcase el número de revoluciones y el avance convenientes.
7. Antes de poner en marcha el avance, véase si la pieza, o la mesa de fresar, tropieza en alguna parte.
8. Refrigérese a su debido tiempo.

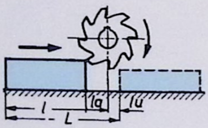


Figura 4.40 Trayecto de trabajo en el fresado.

Prevención de accidentes durante el fresado

1. ¡No pretenda recoger nada con la fresa funcionando!
2. ¡Las virutas deben ser separadas con una brocha o un gancho adecuado, pero nunca con los dedos!
3. ¡No haga mediciones sino con la máquina parada!

Cálculo del tiempo principal en el fresado

$$\text{Tiempo principal} = \frac{\text{carrera de la mesa de fresar (en mm)}}{\text{velocidad de avance (en mm/min)}} \quad \boxed{t_p = \frac{L}{s'}} \text{ en min.}$$

La carrera de trabajo (L) depende de la longitud de la pieza (l), de la carrera anterior l_a y del sobrerrecorrido l_u (fig. 4.39).

Ejemplo Se trata de mecanizar, empleando una fresa cilíndrica y con una sola pasada de fresado de desbastar, una regleta de St 42 de 250 mm de longitud. Calcúlese el tiempo principal.

Datos: $l_a = 30$ mm, $l_u = 5$ mm, velocidad de avance 100 mm/min.

Solución $L = l + l_a + l_u = 250\text{ mm} + 30\text{ mm} + 5\text{ mm} = 285\text{ mm}$

$$t_p = \frac{L}{s'} = \frac{285\text{ mm}}{100\text{ mm/min}} = 2{,}85\text{ min.}$$

FRESADO DE SUPERFICIES PLANAS

En casi todas las piezas existen superficies planas, siendo su utilidad muy variada (fig. 4.41). El mecanizado de estas superficies puede realizarse, además de por fresado, por cepillado, por torneado o por amolado. La calidad superficial se elige de acuerdo con la finalidad que haya de cumplir la superficie. Las superficies de apoyo pueden, por ejemplo, obtenerse por desbastado, por afinado o por afinado fino.

Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado: Mecanizar por fresado la superficie de apoyo del cojinete soldado de la figura 4.42.

Se da por supuesto que disponemos para este trabajo de una fresadora horizontal. Como procedimiento de mecanizado se elige el fresado cilíndrico.

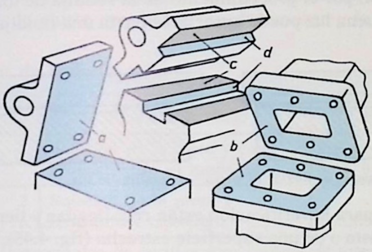


Figura 4.41 Ejemplos de superficies planas. *a*) Superficie de apoyo; *b*) superficie de junta estanca; *c*) superficie de deslizamiento; *d*) superficie de guía.

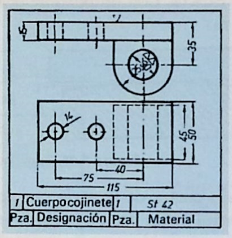
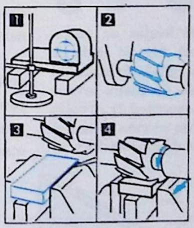


Figura 4.42 Plano de taller.

Plan de trabajo

	Fases del trabajo	Herramientas
1	Trazado	Gramil
2	Sujeción de la fresa y comprobación de si gira redonda	Fresa cilíndrica 63 × 70 N Vástago de fresa
3	Sujeción de la pieza	Tornillo de máquina
4	Fresado de la superficie	
Instrumentos de medición y verificación: pie de rey, regla de filo		



Mecanizado de la superficie

La superficie ha de desbastarse en *una* pasada. La pieza a mecanizar se sujeta teniendo en cuenta la línea de gramil trazada.

El número de revoluciones de la fresa se obtiene partiendo de la velocidad de corte y del diámetro de la fresa. La profundidad de fresado se ajusta mediante cambio conveniente de altura de la consola. Después del fresado ha de aparecer visible la mitad de cada uno de los granetazos del trazado. Después de ajustados han de fijarse la consola y el carro transversal. El avance puede ser hasta de 100 mm/min. Para aproximación de la pieza, se maniobra el carro longitudinal con la palanca correspondiente hasta cerca

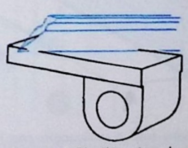


Figura 4.43 Verificación de si la superficie está plana.

de la fresa, se pone en marcha el avance y se establece la refrigeración. Durante el fresado no debe pararse la máquina, pues de lo contrario se produciría un resalto en la superficie.

Verificiación de la superficie

Puede comprobarse si la superficie está plana empleando el procedimiento de la rendija de luz con una regla de filo (fig. 4.43).

Verificación de superficies planas

Procedimiento de la rendija de luz. Para comprobar si una superficie está plana se coloca una regla de acero con el borde de filo de la misma aplicado contra la superficie de la pieza. Las irregularidades se manifiestan por la rendija de luz que aparece entre pieza y regla (figura 4.44). La verificación por el procedimiento de la rendija de luz es muy exacta. Con un poco de práctica y buena luz puede apreciarse hasta una rendija de 10 μm.

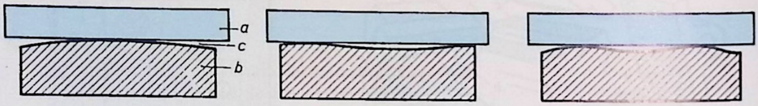


Figura 4.44 Superficies defectuosas. *a)* Regla; *b)* pieza; *c)* rendija de luz

Las partes de la regla que se utilizan para la verificación están rectificadas y tienen la forma de un filo de cuchillo, de una arista o de una superficie estrecha (fig. 4.45). Se distinguen reglas con 4 grados de exactitud. Para preservarlas contra el desgaste, las reglas de filo y las de tres o cuatro aristas van templadas. Para la comprobación de una superficie desbastada basta con una regla de taller. Ésta debe ser colocada bien normal a la superficie que se verifica (fig. 4.46). Ladeando la regla es verdad que la rendija luminosa resulta más visible, pero también lo es que el resultado del ensayo puede ser erróneo porque los lados de la regla pueden no ser planos y la regla puede curvarse. Para hacer el ensayo hay que colocar la regla sucesivamente en diversos lugares y en distintas direcciones. Una superficie afinada o con afinado fino se verifica por el mismo procedimiento, pero con reglas de los grados de exactitud 1 ó 2.

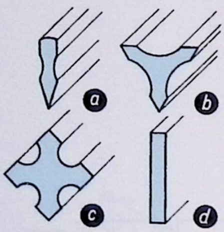


Figura 4.45 Reglas de acero. *a)* Regla de filo; *b)* regla de tres aristas (grado de exactitud 1); *c)* regla de cuatro aristas (grado de exactitud 2); *d)* regla de taller con sección rectangular (grados de exactitud 3 y 4).

Procedimiento del marmoleado. La superficie cuya planitud se quiere comprobar se coloca sobre una placa o un mármol previamente tiznado con tinta china o con otra pintura a la aguada y se frota sobre ella a un lado y a otro. Con esto se marcarán las partes salientes. El procedimiento se realiza, por lo general, en combinación con el rasqueteado.

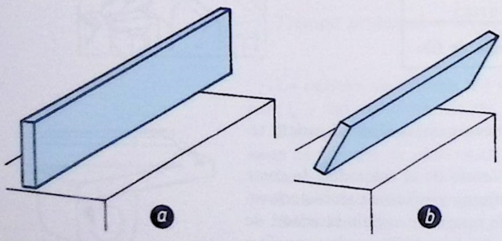


Figura 4.46 Verificación con la regla de taller. *a)* Regla colocada normalmente a la superficie (colocación correcta); *b)* regla ladeada (colocación defectuosa).

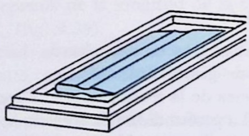


Figura 4.47 Modo de guardar la regla de filo.

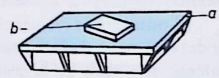


Figura 4.48 Procedimiento del marmoleado. *a)* Placa tiznada; *b)* pieza a verificar.

FRESADO DE CHAVETEROS

Los cubos de acoplamientos, poleas, ruedas dentadas, etc., pueden hacerse solidarios al árbol por medio de chavetas o pasadores (figura 4.49).

Las chavetas sirven para afianzar. Tienen todas ajuste y han de ser introducidas a golpes.

Los pasadores sirven para establecer un enlace de arrastre y no tienen cono. Se emplean cuando el cubo deba poderse desplazar como, por ejemplo, en acoplamientos desembragables.

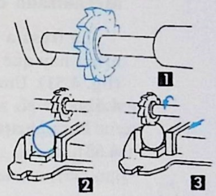
Tanto la altura y la anchura de las chavetas y pasadores como las profundidades de los chaveteros en árboles y cubos están normalizados.

Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado: Fresar en el árbol de la figura 4.50 un chavetero para una chaveta de ajuste con una fresa de ranurar y la fresadora horizontal.

Plan de trabajo

	Fases del trabajo	Herramientas
1	Sujeción de la fresa y comprobación de su modo de girar	Fresas para ranuras 63 × 8 Vástago Ø 22
2	Sujeción de la pieza y fresado del chavetero	Tornillo de máquina
Instrumentos de verificación: calibres de caras paralelas, escuadra, calibre de profundidades para ranuras exteriores.		



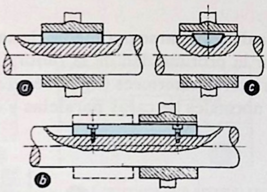


Figura 4.49 Ejemplos de chavetas. *a*) Chaveta de cuña (de fuerza); *b*) chaveta de ajuste; *c*) chaveta de media luna.

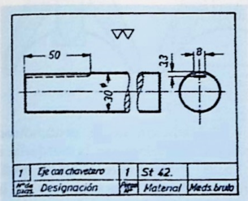


Figura 4.50 Plano de taller.

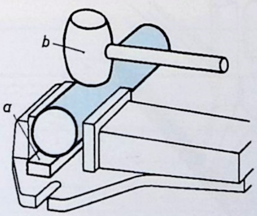


Figura 4.51 Colocación del eje utilizando el martillo de goma. *a*) Pieza paralelepipédica; *b*) mazo de goma.

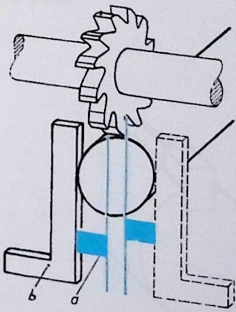


Figura 4.52 Ajuste del eje al centro de la fresa; *a*) calibres normales de caras paralelas; *b*) escuadra.

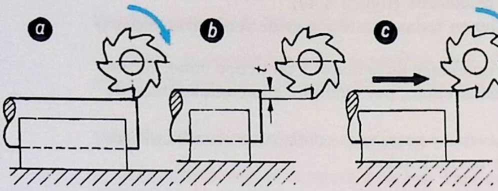


Figura 4.53 Ajuste de la profundidad del chavetero. *a*) Hágase que la fresa roce ligeramente sobre el árbol; *b*) retírese algo la mesa con la palanca de mano y, con ayuda del anillo divisor, bájese 3,3 mm; fíjese a continuación la consola; *c*) acérquese con cuidado la fresa a la pieza y establézcanse a continuación el movimiento de avance y la refrigeración.

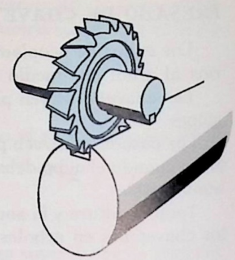


Figura 4.54 Fresado del chavetero.

Mecanizado del chavetero

La fresa a emplear puede ser de ranurar de dientes puntiagudos o con despulla. El árbol hay que disponerlo con todo cuidado horizontalmente y en posición longitudinal (fig. 4.51). Una vez ajustada la pieza al centro de la fresa se fija el carro transversal (fig. 4.52).

Para ajustar la profundidad del chavetero se puede utilizar el anillo divisor (figura 4.53).

Verificación del chavetero

La anchura del chavetero puede verificarse por medio de calibres normales de caras paralelas (fig. 4.55). Para medir la profundidad de la ranura viene bien el empleo del calibre de profundidades para ranuras exteriores (fig. 4.56). La posición centrada de la ranura se verifica con calibres normales de caras paralelas y con el comparador (figuras 4.58 y 4.59).

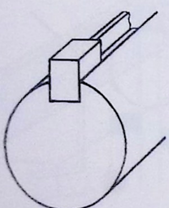


Figura 4.55 Verificación de la anchura del chavetero empleando calibres normales de caras paralelas.

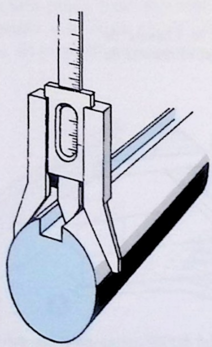


Figura 4.56 Calibre de profundidades para ranuras exteriores.

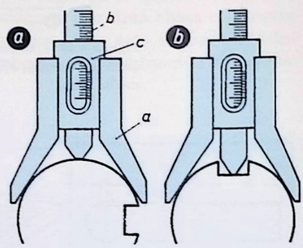


Figura 4.57 Medición de la profundidad de la ranura. *a*) Colóquese la horquilla *a* sobre el árbol; bájese la lengüeta de medición *b* hasta el árbol; póngase a cero con la lengüeta de medición la corredera *c*; *b*) con el instrumento así ajustado mídase la profundidad de la ranura bajando la lengüeta de medición en el chavetero.

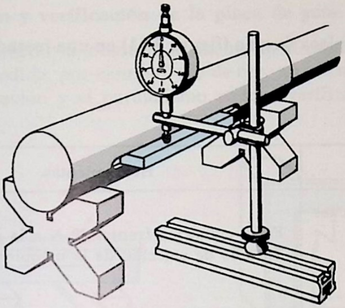


Figura 4.58 Verificación de la posicion de la ranura en dirección longitudinal.

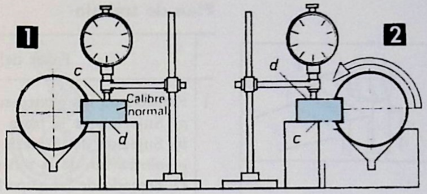


Figura 4.59 Proceso para verificar la posición centrada. 1) Dispóngase el comparador en el plano de verificación *c* y ajústese a cero; 2) hágase girar el árbol exactamente 180° y compruébese el segundo plano *d* con el comparador. La desviación de la aguja nos dará el error de centrado.

FRESADO DE PLACAS DE GUÍA

Frecuentemente se usan como guías o correderas, piezas provistas de superficies paralelas o formando ángulo (fig. 4.60). Ahora bien, no queda garantizado un buen ajuste nada más que cuando las superficies que han de ajustarse entre sí, además de ser planas, son paralelas y forman el mismo ángulo. Las superficies de guía son frecuentemente rasqueteadas o rectificadas después del fresado.

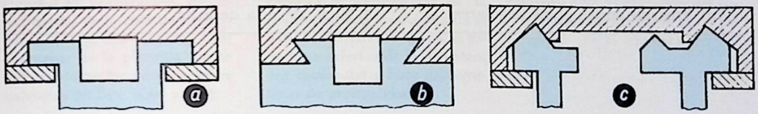
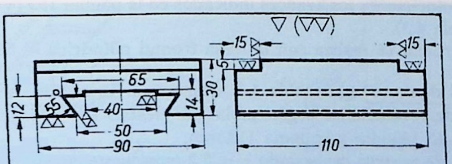


Figura 4.60 Ejemplos de correderas. *a*) Corredera con sección rectangular; *b*) corredera en cola de milano; *c*) corredera de lomo bombeado.



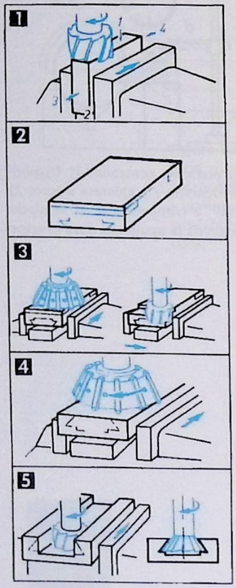
1	Placa de guía	1	GG-18	95×115×35
Nº de pzas.	Designación	Pieza Nº	Material	Medidas bruto

Figura 4.61 Plano de taller.

Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado: Fresado de una placa de guía (figura 4.61) en una fresadora vertical.

Plan de trabajo



	Fases del trabajo	Herramientas
1	Fresado de las cuatro superficies estrechas *a*) Sujeción de la fresa *b*) Sujeción de la pieza y nivelación y alineación de la misma *c*) Fresado de las superficies estrechas	 Fresa cilíndrica frontal 50 N a la derecha Tornillo de sujeción de la máquina
2	Trazado	Gramil; escuadra; transportador universal
3	Fresado de las superficies superiores *a*) Sujeción cabezal portacuchillas *b*) Sujeción de la pieza y nivelación y alineación de la misma *c*) Desbastado de la superficie *d*) Sujeción de la fresa frontal cilíndrica *e*) Desbastado y afinado de los dos rebajos	 Cabezal portacuchillas ∅ 100 Fresa frontal cilíndrica 50 N a la derecha
4	Fresado de la superficie inferior *a*) Sujeción del cabezal portacuchillas *b*) Sujeción de la pieza y alineación y nivelación de la misma *c*) Desbastado y afinado de la superficie	 Cabezal portacuchillas ∅ 100
5	Fresado de las guías en cola de milano *a*) Sujeción de la fresa frontal cilíndrica *b*) Fresado preliminar de las guías *c*) Sujeción de la fresa angular *d*) Fresado de las guías angulares	 Fresa frontal cilíndrica 40 N a la derecha, 50 N a la derecha Fresa angular 50 × 55° a la derecha

Mecanizado de la placa de guía

Para el fresado de la placa de guía hay que determinar el número de revoluciones de la fresa y el avance. Supongamos que disponemos de una fresadora vertical con los números de revoluciones y los avances indicados en la página 153 (Valores normativos para v y s_z, tabla 4.3).

El fresado frontal se realiza con la fresa frontal cilíndrica ∅ 50 (6 dientes).

a) Velocidad de corte según tabla 4.3: desbastado 18 m/min, afinado 22 m/min.
b) Número de revoluciones según tabla 4.6: desbastado 115/min, se escoge 113 min; afilado 140/min y se toma 113/min.
c) Velocidad de avance: desbastado s_z = 0,2 mm/diente, se elige 99 mm/min; (s_z = 0,1 mm/diente), se elige 57 mm/min.

Del mismo modo se determinan los números de revoluciones y los avances para el fresado con el cabezal portacuchillas y con la fresa angular.

Medición y verificación de la placa de guía

Para medir la longitud, la anchura y el espesor se utilizan los instrumentos corrientes de medida, por ejemplo, pie de rey, calibre de profundidades y pálmer. La planitud, la inclinación y el paralelismo pueden verificarse de diferentes modos (figs. 4.62 a 4.69).

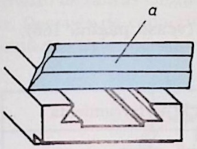


Figura 4.62 Verificación de la planitud con la regla de filo *a*.

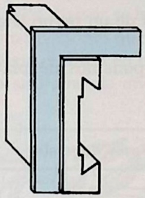


Figura 4.63 Verificación de la perpendicularidad por medio de la escuadra.

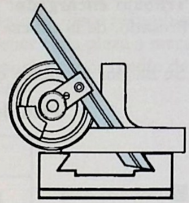


Figura 4.64 Verificación de la inclinación de la guía en cola de milano por medio del transportador universal.

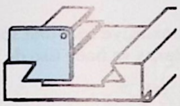


Figura 4.65 Verificación de la inclinación de la cola de milano por medio de una plantilla. Con el empleo de la plantilla puede uno ahorrarse las verificaciones indicadas en figs. 4.64 y 4.66.

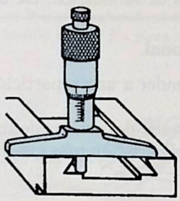


Figura 4.66 Verificación de la profundidad de la cola de milano y del paralelismo de las caras superior e inferior de la corredera por medio del calibre micrométrico de profundidades.

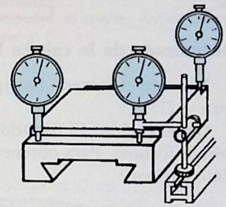


Figura 4.67 Verificación del paralelismo de las caras de la corredera con el comparador.

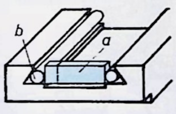


Figura 4.68 Verificación del paralelismo de las superficies de guía inclinadas por medio de calibres normales de caras paralelas y de calibres redondos auxiliares.

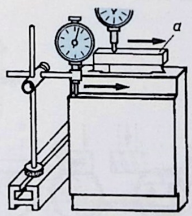


Figura 4.69 Verificación de las caras cruzadas por medio de escuadra y comparador. La escuadra *a* debe tener uno de los lados en forma de cilindro para poderlo adaptar a la guía en cola de milano.

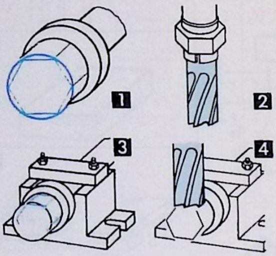
FRESADO DE PIEZAS HEXAGONALES

Las piezas cuya periferia está constituida por caras o por entalladuras repartidas regularmente se emplean en las formas más diversas (fig. 4.70).

Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado:
Fresado, de la cabeza hexagonal de un perno (figura 4.71) con una fresadora vertical.

Se da por supuesto que no disponemos de plato divisor (véase página 166).



Plan de trabajo

	Fases del trabajo	Herramienta
1	Trazado	Gramil, pieza uve
2	Sujeción de la fresa	Fresa de vástago B 20 N
3	Sujeción de la pieza	Pieza uve de sujeción
4	Fresado de la cabeza hexagonal	
Instrumentos de verificación: pie de rey, plantilla angular de 120°		

Mecanizado de la cabeza hexagonal

Durante el fresado hay que atender a una repartición regular de las superficies (figura 4.71).

Observación: El fresado con ayuda del prisma de sujeción constituye sólo *una solución de fortuna*. Para obtener una repartición más exacta de las caras se hace uso de un plato divisor.

Medición y verificación de la cabeza hexagonal

La distancia entre caras opuestas se mide con el pie de rey. Para verificar la posición de las caras se utiliza la plantilla de 120°.

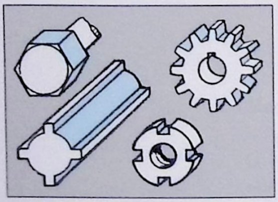


Figura 4.70 Ejemplos de piezas con entrantes y salientes regularmente repartidos. *a*) Tornillo; *b*) eje de chaveta múltiple; *c*) rueda dentada; *d*) tuerca de anillo.

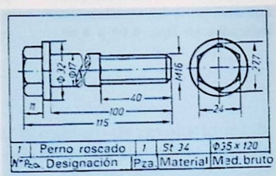


Figura 4.71 Plano de taller.

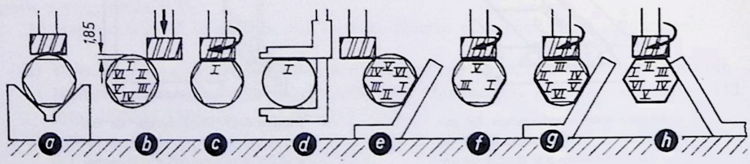


Figura 4.72 Orden de sucesión de las operaciones en el fresado de una pieza hexagonal. *a*) Hágase que la fresa roce sobre la pieza; *b*) colóquese después la fresa 1,85 mm más baja [(27,7 – 24) : 2 = 1,85]; *c*) fresado de la primera cara (I); *d*) medición de la primera cara; *e*) gírese la pieza en 120°; *f*) fresado de la segunda cara (V); *g*) giro de la pieza y fresado de la tercera cara (III); *h*) gírese la pieza y frésense las caras II, IV y VI.

División con aparatos para dividir

Con objeto de repartir exactamente en la periferia de una pieza las entalladuras y salientes de que se la quiera dotar se utilizan los platos divisores que hacen inútil el trazado.

El aparato divisor elemental (fig. 4.73) resulta suficiente cuando se quiere establecer un reducido número de divisiones. La pieza se fija entre los puntos del cabezal divisor y del cabezal móvil. Sobre el husillo divisor se halla dispuesto un disco recambiable provisto de tantas entalladuras como divisiones queramos obtener en la pieza a mecanizar. Después de cada giro se mantiene el disco en una nueva posición por medio de un trinquete. Este método de trabajo se llama de *división directa*.

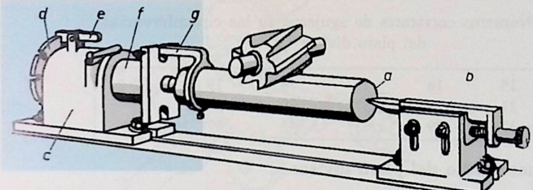


Figura 4.73 Aparato divisor elemental. *a*) Pieza; *b*) cabezal móvil o contrapunto; *c*) aparato divisor constituido por disco divisor *d*, trinquete *e*, husillo divisor *f* y pieza de arrastre *g*.

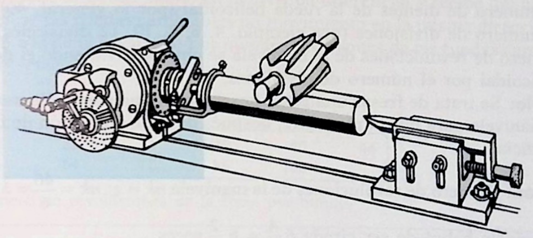


Figura 4.74 Cabezal divisor.

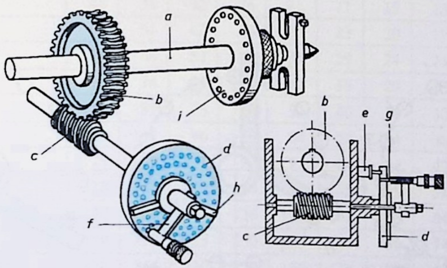


Figura 4.75 Elementos principales del cabezal divisor. *a*) Husillo divisor; *b*) rueda helicoidal; *c*) tornillo sin fin; *d*) plato divisor; *e*) clavija de inmovilización; *f*) manivela; *g*) clavija indicadora de la división; *h*) brazo de la tijera ajustable; *i*) plato divisor para división directa.

El cabezal divisor (figuras 4.74 y 4.75) sirve para realizar un gran número de divisiones. En la carcasa se encuentra un mecanismo de tornillo sin fin con relación de 1 : 40. La rueda helicoidal se halla firmemente calada en el husillo divisor. El disco divisor, que es recambiable, permanece fijo y está unido a la carcasa por medio de una *clavija*. A cada cabezal divisor le corresponden tres platos divisores cuyas circunferencias con agujeros tienen distintos números de agujeros (tabla 4.4).

La manivela para hacer girar el tornillo sin fin puede correrse hacia el centro. Lleva una clavija divisora con la cual se establece la división sobre el plato divisor. Un compás o tijera de abertura ajustable ahorra el recuento de agujeros al dividir. Por motivo de ser desplazada la pieza por intermedio del tornillo sin fin, el proceso se llama de *división indirecta*.

Tabla 4.4. Números corrientes de agujeros en las circunferencias del plato divisor

I	15	16	17	18	19	20
II	21	23	27	29	31	33
III	37	39	41	43	47	49

División por medio del plato divisor

Con objeto de poder hacer divisiones hay que determinar el número de revoluciones de la manivela.

Notaciones:

nk = número de revoluciones de la manivela.

z = número de dientes de la rueda helicoidal (por lo general, 40).

t = número de divisiones (por ejemplo, 4, 6, 8, 10, 12 divisiones).

El número de revoluciones de la manivela se obtiene dividiendo el de dientes de la rueda helicoidal por el número de divisiones.

Ejemplo: Se trata de fresar una pieza hexagonal. ¿Cuántas vueltas tendremos que dar a la manivela para que la pieza gire, después de cada operación de fresado, en 1/6 circunferencia?

Solución: Número de revoluciones de la manivela $nk = z$; $nk = \frac{40}{6} = 6\frac{4}{6}$ rev, es decir que la manivela habrá de ser girada $6\frac{4}{6} = 6\frac{2}{3}$ veces.

Modo de operar: Se elige una circunferencia cuyo número de agujeros sea divisible por 3, por ejemplo la circunferencia de 15 agujeros (tabla 4.4), (fig. 4.76).

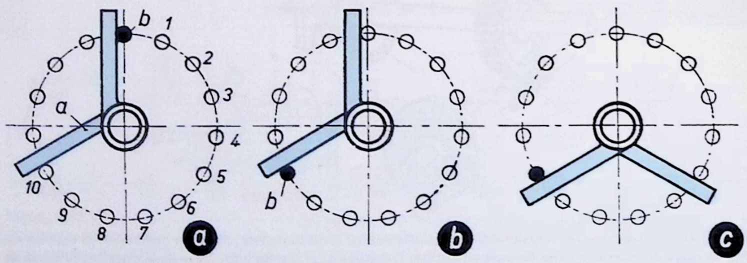


Figura 4.76 División con el plato divisor. *a)* Ángulo ajustable; *b)* clavija de la manivela.

a) Se cuentan ahora $\frac{2}{3} \cdot 15 = 10$ agujeros y se establece la abertura correspondiente de los brazos de la tijera.

b) Después de fresar la primera cara se da a la manivela 6 vueltas completas más el ángulo correspondiente a 10 agujeros.

c) En seguida de hecho esto se aplica la abertura de los brazos de la tijera contra la parte posterior de la clavija.

División diferencial. Las divisiones que no se pueden conseguir con la división directa o con la indirecta se pueden obtener con ayuda de ruedas cambiables mediante lo que se llama división compensada o diferencial.

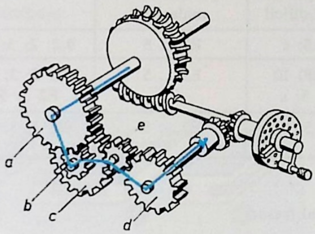


Figura 4.77 División diferencial. *a* ... *d* ruedas cambiables.

El plato diferencial queda suelto en la división diferencial y recibe del husillo diferencial a través de las ruedas cambiables un movimiento en la misma dirección o en dirección inversa a la de la manivela. Los números de dientes de las ruedas cambiables se determinan por cálculo.

Tabla 4.5. Número de dientes de las ruedas cambiables

24	24	28	32	36	40	44
48	56	64	72	86	100	

Tabla 4.6. Número de revoluciones de la fresa por minuto

Velocidad de corte *v* en mm/min	Diámetro de la fresa *d* en mm									
	40	50	60	75	90	110	130	150	175	200
6	48	38	32	26	21	17	15	13	11	10
8	64	51	42	34	28	23	20	17	15	13
10	79	64	53	42	35	29	24	21	18	16
12	96	76	64	51	42	35	29	25	22	19
14	112	89	73	60	50	40	34	30	26	22
18	145	115	96	76	64	52	44	38	33	29
22	175	140	117	93	77	64	54	47	40	35
26	210	165	140	110	91	75	65	56	48	42
30	240	190	160	128	105	87	73	64	55	48
35	280	225	185	150	125	100	86	74	64	56
40	320	255	210	170	140	116	98	86	72	64
45	360	287	240	190	160	130	110	95	82	72
50	400	318	265	212	177	145	122	106	91	80

Ejemplo: Velocidad de corte $v = 22$ m/min, diámetro de la fresa $d = 60$ mm. Se trata de buscar el número de revoluciones de la fresa por minuto.

Solución: Entrando en la tabla anterior con $v = 22$ m/min hacia la derecha y con $d = 60$ mm hacia abajo, en la intersección de ambas líneas se encuentra para velocidad de la fresa, la cifra de 117 revoluciones por minuto.

Tabla 4.7. Medio lubricante y refrigerante (véanse designaciones en tabla 1.4, pág. 46)

Procedimiento	Acero		Hierro fundido y fundición maleable	Metales no férreos	Metales ligeros
	arranque de viruta normal	arranque de viruta difícil			
Fresado	E5 ... 10	04; 5; c	E2 ... 5	0,2; 2; 3; b	01; 2; 3; b
Taladrado	E2 ... 5	E (EP) 10 0,4; 5; c	E2 ... 5	01; 2; 3; b E2 ... 5	01; 2; 3; a; b E2 ... 5
Brochado	02; 3; b E (EP) 10	04; 5; b	E2 ... 5	01; 2; 3; b	01; 2; 3; b

Tabla 4.8. Volumen de viruta admisible al fresar

Clase de fresa	Volumen V' admisible de virutas en cm^3 por kW min de potencia de la máquina					
	Acero sin alear St 34 St 50	Acero sin alear St 60 St 70	Acero aleado por ejemplo 31 Ni Cr 14	Hierro fundido (semiduro)	Latón y similar o tumbaga	Metales ligeros
Fresa cilíndrica	12	10	8	22	30	60
Fresa frontal	15	12	10	28	40	75

Capítulo 5

Cepillado de piezas

Además del fresado, el cepillado o el mortajado constituyen importantes procedimientos de trabajo para conseguir superficies planas y curvas (fig. 5.1).

El cepillado y el mortajado consiste en arrancar virutas con un útil de un solo filo que no está continuamente en acción. Las virutas se arrancan de la pieza en forma de tiras en cada carrera de trabajo.

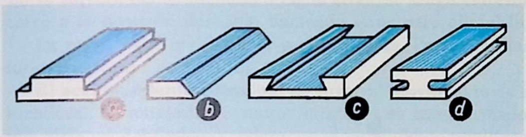


Figura 5.1 Ejemplos de piezas cepilladas. *a)* y *b)* Regletas de guía, *c)* guía en forma de cola de milano, *d)* troquel de corte.

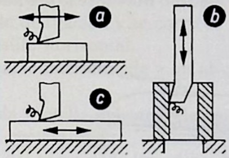


Figura 5.2 *a)* Mortajado horizontal; *b)* mortajado vertical; *c)* cepillado.

Mortajado: La *herramienta* realiza aquí el movimiento de corte. En el caso del mortajado horizontal, el movimiento de corte es horizontal, mientras que en el mortajado vertical ese movimiento es vertical (véase pág. 187).

Cepillado: La *pieza* es la que realiza ahora el movimiento de corte (pág. 183).

Mortajadora horizontal

La máquina se llama también cepilladora corta y en España más generalmente limadora. Se presta esta máquina para trabajar piezas pequeñas; por ejemplo,hasta una longitud de 800 mm. El arranque de viruta con la mortajadora horizontal se llama también cepillado.

Para arrancar virutas son necesarios el movimiento principal, el de avance y el de ajuste del útil (figs. 5.3 y 5.4).

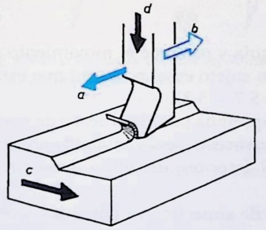


Figura 5.3 Mortajadora horizontal. Obtención de una superficie horizontal. *a)* Carrera de trabajo; *b)* carrera en vacío; *c)* movimiento de avance (avance transveresal), *d)* movimiento de ajuste del útil.

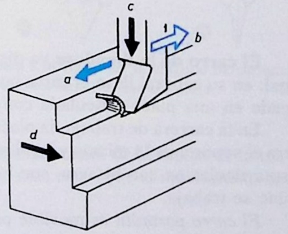


Figura 5.4 Mortajadora horizontal. Obtención de una superficie vertical. *a)* Carrera de trabajo; *b)* carrera en vacío; *c)* movimiento de avance (avance vertical), *d)* movimiento de ajuste del útil.

El movimiento principal o movimiento de corte es realizado por el útil de cepillar. Se distingue entre carrera de trabajo y carrera en vacío. La viruta es arrancada durante la carrera de trabajo. Por medio de la carrera en vacío (retroceso) el útil vuelve hacia atrás sin arranque de viruta. Ambas carreras juntas constituyen la doble carrera.

El movimiento de avance es intermitente y es el que da lugar al avance. Para cepillar en dirección horizontal, la pieza, ya sujeta, que se va a trabajar, es movida contra el útil. En el cepillado vertical, es el útil el que se mueve contra la pieza.

El movimiento de ajuste sirve para graduar el espesor de la viruta. En el cepillado horizontal se obtiene, generalmente, mediante movimiento del útil en altura y en el cepillado vertical, por movimiento lateral de la pieza que se mecaniza.

Constitución de una limadora horizontal (fig. 5.6)

El bastidor de la máquina soporta la mesa, el carro y, además, los mecanismos para los movimientos principal y de avance.

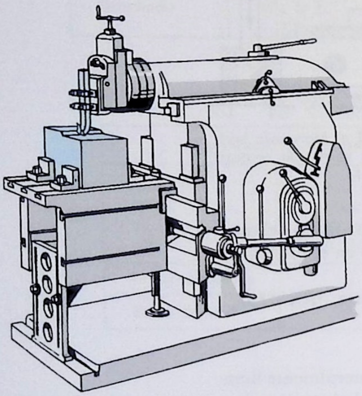


Figura 5.5 Máquina limadora.

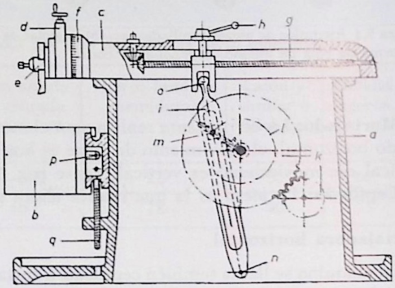


Figura 5.6 Constitución de la limadora o mortajadora horizontal. *a*) Bastidor o cuerpo de la máquina; *b*) mesa; *c*) carro de la limadora; *d*) carro portaherramientas; *e*) portaherramientas; *f*) escala graduada; *g*) husillo para regulación de la carrera; *h*) palanca de fijación; *i*) biela oscilante de corredera; *k*) engranaje de ruedas dentadas; *l*) disco-manivela; *m*) espiga de la manivela con pivote o taco de la corredera; *n*) eje de giro; *o*) articulación; *p*) desplazamiento lateral de la mesa.

El carro de la limadora va dispuesto en una guía y produce el movimiento principal; en su cabezal lleva el carro portaútil. El útil va sujeto en el portaútil que está colocado en una placa articulada con charnela (figs. 5.7 y 5.8).

En la carrera de trabajo, la placa articulada es apretada por el esfuerzo de corte contra el soporte de la misma y en el movimiento de retroceso, se levanta algo en virtud de su articulación con bisagra, con lo cual se evita el deterioro del útil y de la superficie que se trabaja.

El carro portaútil es movible para el cepillado de superficies inclinadas y con este objeto va provisto de una escala graduada.

El husillo roscado que va en el interior del carro de la limadora sirve para ajustar la carrera de la máquina.

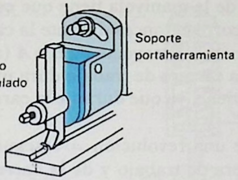


Figura 5.7 Placa a charnela con su soporte.

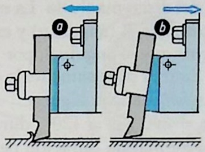


Figura 5.8 Modo de trabajar la placa a charnela durante el cepillado. *a*) Carrera de trabajo; *b*) carrera en vacío.

La pieza puede estar sujeta en la mesa en diversos lugares de la misma (fig. 5.9). La carrera de la máquina ha de ajustarse, por lo tanto, con relación a la pieza. Para desplazar la carrera hacia adelante o hacia atrás, se afloja el tornillo de fijación y se corre el carro a la posición deseada, haciendo girar para ello el husillo horizontal.

La mesa sirve para sujetar a ella la pieza. Puede desplazarse lateralmente y en altura, por medio de husillos.

El accionamiento principal da lugar al movimiento de ida y vuelta del carro de la limadora. El movimiento motor giratorio es transformado, generalmente, mediante una biela oscilante de corredera, en el movimiento rectilíneo del carro de la limadora.

Un motor imprime movimiento rotatorio uniforme al disco-manivela a través de un mecanismo de engranajes. En la ranura del disco-manivela está dispuesta una espiga que puede desplazarse hacia el centro mediante accionamiento de un husillo. La espiga lleva un pivote o taco de corredera que desliza en la guía de la biela oscilante. En virtud del movimiento de giro del disco-manivela, la biela oscilante que tiene su centro de giro al pie de la máquina, oscila a un lado y a otro con su extremo libre. Una articulación transmite al carro ese movimiento oscilante.

Hay también máquinas cepilladoras con movimiento principal accionado hidráulicamente* (véase pág. 174).

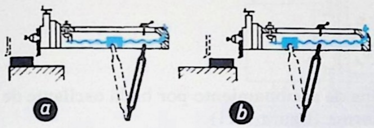


Figura 5.9 Variación de la carrera: *a*) Adelanto de la carrera; *b*) retraso de la carrera.

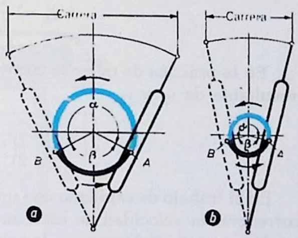


Figura 5.10 Ajuste de la longitud de carrera. *a*) Carrera larga; *b*) carrera corta.

La longitud de la carrera se ajusta mediante desplazamiento de la espiga de la manivela. El retroceso del carro se realiza en un tiempo más corto que el movimiento hacia adelante (fig. 5.10).

* *N. del T.:* También se verifica la impulsión del movimiento de corte, aunque menos frecuentemente, por medio de una cremallera con inversión por un acoplamiento de fricción.

Para una carrera larga (fig. 5.10), la espiga de la manivela tiene que estar muy alejada del centro del disco-manivela. La espiga recorre entonces durante la carrera de trabajo el trayecto de A a B (ángulo α) y en el retroceso el trayecto de B a A (ángulo β). El ángulo α es mayor que el ángulo β, por lo cual la carrera de trabajo dura más que la carrera en vacío. Esto es precisamente lo que conviene, ya que durante la carrera en vacío no se realiza trabajo eficaz alguno.

Ejemplo: $\alpha = 240°$; $\beta = 120°$; duración de una revolución = 3 segundos.

Calcúlese el tiempo de duración de la carrera de trabajo y de la carrera en vacío.

Solución: 1 revolución = 360° en 3 segundos.

carrera en vacío = 120° en 1 segundo

carrera de trabajo = 240° en 2 segundos.

Para una carrera pequeña se fija la espiga en las proximidades del centro. La diferencia de magnitudes de los ángulos α y β es pequeña en este caso, de modo que los tiempos invertidos en las carreras de trabajo y de retroceso no presentan gran diferencia entre sí.

Velocidad de corte en el cepillado. Se designa por velocidad de corte (v_A) el recorrido en m/min que hace el útil durante la carrera de trabajo. La velocidad durante la carrera en vacío se llama velocidad de retroceso (v_R).

Ejemplo: Longitud de la carrera $L = 360$ mm; tiempo invertido en la carrera de trabajo $t_A = 0{,}03$ minutos; tiempo invertido en el retroceso $t_R = 0{,}015$ minutos.

Calcúlese la velocidad de corte v_A y la velocidad de retroceso v_R.

Solución: $\left(\text{Velocidad} = \dfrac{\text{espacio}}{\text{tiempo}}\right)$

$$\text{Velocidad de corte:} \quad v_A = \frac{\text{longitud de la carrera (en m)}}{\text{tiempo invertido en la carrera de trabajo}}$$

$$v_A = \frac{L}{t_A} = \frac{0{,}36 \text{ m}}{0{,}03 \text{ min}} = 12 \text{ m/min.}$$

$$\text{Velocidad de retroceso:} \quad v_R = \frac{\text{longitud de la carrera (en m)}}{\text{tiempo invertido en el retroceso}}$$

$$v_R = \frac{L}{t_R} = \frac{0{,}36 \text{ m}}{0{,}015 \text{ min}} \quad 24 \text{ m/min.}$$

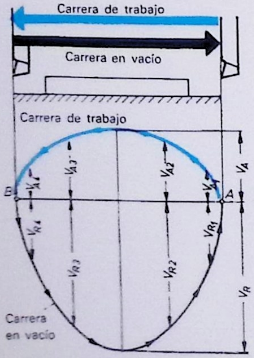


Figura 5.11 Representación gráfica de las velocidades durante el cepillado.

En la práctica de taller se cuenta, por lo general, con una velocidad de corte media, resultante de v_A y v_R

$$\left(v_m = 2 \quad \frac{v_A \cdot v_R}{v_A + v_R}\right)$$

En el trabajo de cepillado con una máquina de accionamiento por biela oscilante de corredera, la velocidad de corte no es uniforme (figura 5.11).

Al principio de la carrera, la velocidad de corte es nula. Crece después hasta un valor máximo v_A a la mitad de la carrera y disminuye nuevamente hasta el valor cero al final de la misma. Lo mismo ocurre para la velocidad de retroceso que ya hemos visto es mayor.

Influencia de la longitud de carrera sobre la velocidad de corte. Para un número igual de revoluciones del disco-manivela, permanece también igual el número de carreras (1 revolución = 1 doble carrera). Si se varía la longitud de la carrera, variará también la velocidad, ya que el útil de cepillar hará en el mismo tiempo un recorrido de longitud distinta.

Accionamiento del avance. El avance entra en juego intermitentemente antes de cada carrera de trabajo. Accionando a mano el husillo de avance, se producirían super-

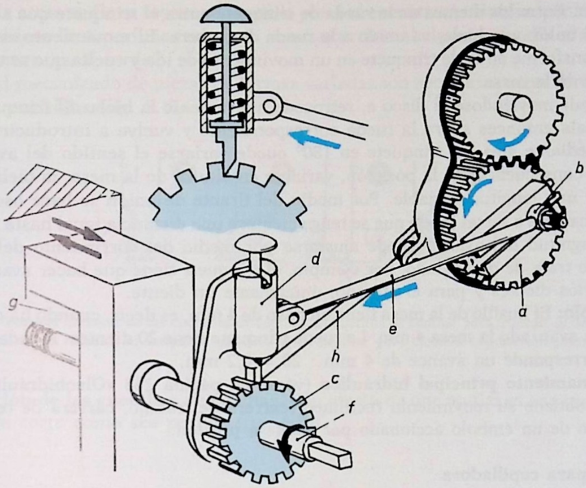


Figura 5.12 Modo de funcionar el mecanismo de avance. *a*) Rueda de carrera; *b*) gorrón; *c*) rueda de trinquete; *d*) trinquete; *e*) biela; *f*) husillo de la mesa; *g*) mesa; *h*) tirante de unión.

ficies no muy limpiamente mecanizadas dado el irregular movimiento de las manivelas que resultaría inevitable. Este inconveniente queda solventado mediante el avance desmodrómico.

Un disco de carrera con ranura en T es accionado por el árbol del disco-manivela. En la ranura puede deslizar un gorrón que puede también ser fijado en una posición

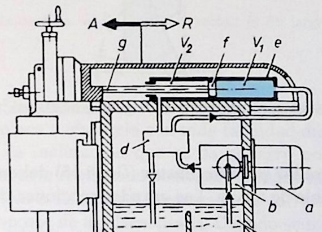


Figura 5.13 Accionamiento principal hidráulico. *a*) Electromotor, *b*) bomba regulable, *c*) depósito de aceite, *d*) válvula direccional, *e*) cilindro; *f*) émbolo; *g*) vástago.
El electromotor acciona la bomba de caudal variable. Esta aspira aceite hidráulico del depósito y lo impulsa —por la válvula direccional— bien se a la cámara del cilindro V_1 (carrera de trabajo) o a la V_2 (carrera de retroceso), $V_1 > V_2$. El mando de la válvula direccional se verifica por medio de topes dispuestos en el portaútil. Estos hacen posible también el ajuste de la carrera y de su posición.

Carrera de trabajo (A). El aceite a presión entra en V_1. La gran superficie del émbolo origina una gran fuerza de trabajo. El llenado del volumen V_1 del cilindro da lugar a una pequeña velocidad del portaútil (velocidad de corte).

Carrera de retroceso (R). El aceite a presión entra en V_2. La pequeña superficie anular del émbolo produce una fuerza pequeña pero una gran velocidad de retroceso.

Mediante la bomba de caudal variable puede verificarse sin escalonamiento la cantidad de aceite impulsado y con ello la velocidad del portaútil.

cualquiera. Entre los dientes de la rueda de trinquete entra el trinquete que a su vez, a través del bulón y la biela, va unido a la rueda de carrera. El movimiento circular de ésta se transforma en la de trinquete en un movimiento de ida y vuelta que se transmite al husillo de la mesa.

Al seguir moviéndose el disco *a*, retrocede nuevamente la biela. El trinquete biselado resbala entonces sobre la rueda correspondiente y vuelve a introducirse en un hueco. Mediante giro del trinquete en 180° puede variarse el sentido del avance.

Como consecuencia de la posición, variable en altura, de la mesa, la biela tendría que tener una longitud variable. Por medio del tirante de unión se hace oscilar a la rueda de carrera α de tal modo que se tenga siempre una distancia igual hasta la mesa.

La magnitud del avance puede ajustarse por medio del corrimiento del gorrón. Cuando se trata de desbastado, por ejemplo, el trinquete tiene que hacer avanzar a la rueda varios dientes y para el afinado, únicamente un diente.

Ejemplo: El husillo de la mesa tiene un paso de 4 mm, es decir, cuando ha dado una vuelta, ha avanzado la mesa 4 mm. La rueda trinquete tiene 20 dientes. A cada salto de diente corresponde un avance de 4 mm : 20 = 0,2 mm.

Accionamiento principal hidráulico (véase en página 263 «Oleohidráulica»). El portaútil obtiene su movimiento rectilíneo (carrera de trabajo, carrera de retroceso) por medio de un émbolo accionado por aceite a presión.

Cuchilla para cepilladora

Para arrancar virutas en las mortajadoras horizontales y en las cepilladoras se emplean los mismos útiles. Estos útiles reciben el nombre de cuchillas de cepillar. Se diferencian en cuanto a forma y material de corte sólo en casos excepcionales de las cuchillas torno. La carga que se produce a modo de percusión al iniciar el corte exige tipos de material tenaces, por ejemplo P40, P50.

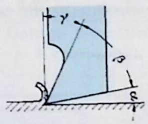


Figura 5.14 Ángulo en el filo del cincel de cepillar. α) Ángulo de incidencia, β) ángulo de filo o de cuña, γ) ángulo de ataque.

Las cuchillas de cepillar para desbastar (fig. 5.15) deben arrancar en poco tiempo la mayor cantidad posible de viruta. Las grandes secciones de viruta exigen una forma robusta de filo.

Las cuchillas de cepillar para afinar (fig. 5.16) han de dar a la superficie trabajada un aspecto limpio y por esta razón los filos son redondeados o planos. Una cuchilla cur-

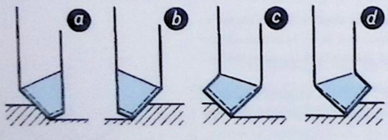


Figura 5.15 Cuchillas de cepillar para desbastar. *a*) Cuchilla de cepillar a la izquierda, recta; *b*) de cepillar a la derecha, recta; *c*) de cepillar a la izquierda, curvada; *d*) de cepillar a la derecha, curvada.

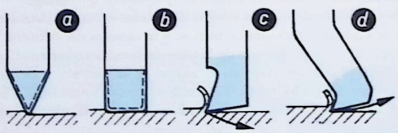


Figura 5.16 Cuchillas de cepillar para afinar. *a*) Cuchilla de cepillar en punta; *b*) de cepillar ancha; *c*) recta; *d*) curvada.

vada hacia atrás se flexa separándose de la pieza al encontrar en ésta un punto duro, no deteriorándose la superficie trabajada como ocurriría al clavarse en ella si no tuviera esa curvatura hacia atrás.

Para el mecanizado de piezas de formas variadas son necesarias **otras formas especiales de cuchillas** (fig. 5.17).

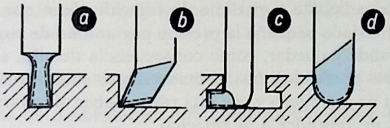


Figura 5.17 Formas diversas de las cuchillas de cepillar. *a*) Cuchilla de cepillar para tronzar; *b*) de cepillar de corte lateral; *c*) de cepillar en forma de gancho; *d*) de cepillar para ejecutar redondeamientos.

Sujeción de las cuchillas de cepillar. Con objeto de que no flexen hay que sujetarlas tan en corto como sea posible (fig. 5.18).

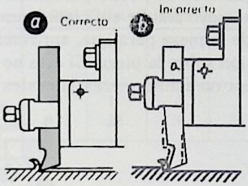


Figura 5.18 Sujeción de la cuchilla. *a*) En corto (correcto); *b*) En largo (defectuoso).

En el *avance transversal*, el útil se mantiene perpendicular a la pieza que se trabaja. En este caso se levanta la placa a charnela con toda facilidad durante la carrera de retroceso del útil. Mediante la inclinación que se da al carro portaherramientas en el *avance oblicuo*, la placa charnela recibe una posición inclinada que es causa de que únicamente con dificultad vuelva a su asiento después de la carrera en vacío. Para evitar esto se coloca vertical el soporte de la placa citada. Cuando se trata de cepillar superficies interiores inclinadas se fija la placa charnela con una clavija con objeto de que la cuchilla no deteriore durante el retroceso la superficie trabajada (fig. 5.19).

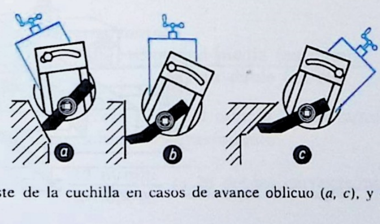


Figura 5.19 Ajuste de la cuchilla en casos de avance oblicuo (*a*, *c*), y de avance vertical (*b*).

Sujeción de las piezas

Mediante la sujeción se origina entre la pieza y los apoyos o calces un fuerte rozamiento que impide el deslizamiento de la misma al obrar sobre ella la fuerza de corte. La magnitud del rozamiento crece con la aspereza o rugosidad de las superficies de sujeción y con la presión ejercida por las mordazas. Esta útima no puede, sin embargo, ser extraordinariamente grande, pues podría darse el caso de que se deformaran las piezas cuando son delgadas. La superficie de sujeción tiene que ser suficientemente grande, pues si es demasiado pequeña la presión por unidad de superficie podría resultar excesivamente grande y quedar, como consecuencia de ello, señaladas en la pieza las marcas de los sitios oprimidos. Las virutas y demás cuerpos extraños interpuestos hacen que la sujeción no sea buena y por esta razón deben limpiarse las superficies correspondientes antes de proceder a la sujeción.

Las piezas pequeñas se sujetan en el tornillo de la máquina (figura 5.20). La pieza se levanta algo al cerrar la mordaza móvil y por esta razón hay que apretarla contra el fondo, golpeándola con el mazo de madera. Con auxilio de piezas paralelepipédicas se facilita la colocación y sujeción, pero ha de atenderse a que con ellas no queden dificultadas las mediciones y verificaciones durante el mecanizado.

Las piezas grandes se sujetan sobre la mesa de cepillar (fig. 5.21). Como medios de sujeción se emplean tornillos y bridas de sujeción. Las cabezas de los tornillos de sujeción han de ajustar bien en las ranuras en T de la mesa. La brida transmite a la pieza la presión de sujeción. Tiene que estar dispuesta paralelamente a la superficie de sujeción con objeto de que el área de apoyo resulte suficientemente grande. Los tornillos de sujeción deben quedar cerca de la pieza para que, aprovechándose la acción de palanca, se produzca una fuerte presión sobre la pieza. Si ésta no puede sujetarse por arriba se recurre a sujetarla a la mesa mediante piezas laterales (fig. 5.22).

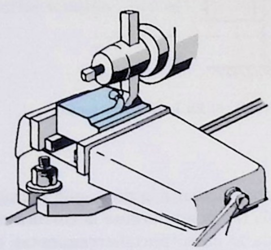


Figura 5.20 Sujeción en el tornillo de la máquina.

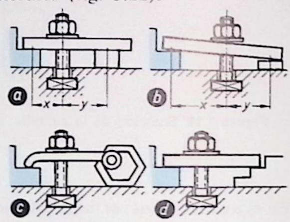


Figura 5.21 Sujeción en la mesa de cepillar. *a*) Buen apoyo cuando *x* es lo más corto posible; *b*) mal apoyo cuando *x* es demasiado grande con relación a *y*; *c*) mordaza de sujeción desplazable en altura; *d*) escalerilla de sujeción.

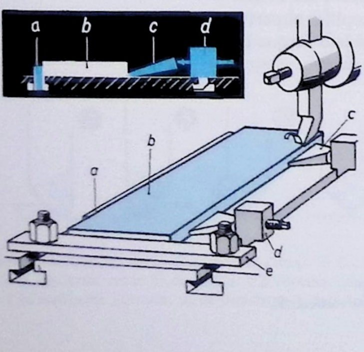


Figura 5.22 Sujeción de piezas delgadas. *a*) Listón de tope; *b*) pieza; *c*) topes de sujeción; *d*) bloque de sujeción con tornillo; *e*) tope frontal.

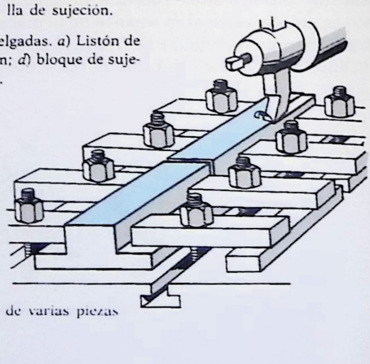


Figura 5.23 Sujeción de varias piezas

Ajuste del número de dobles carreras

El número de dobles carreras a establecer por minuto se rige por la velocidad de corte admisible y por la longitud de la carrera.

La *velocidad de corte* es entre un 20 % y un 50 % menor que en el torneado.

El *número de dobles carreras por minuto* puede leerse en la tabla correspondiente de la máquina (tabla 5.2), teniendo en cuenta la velocidad de corte adoptada, pero puede obtenerse también por cálculo. Según sea el tipo de la máquina pueden establecerse diversas dobles carreras por minuto.

Determinación de las dobles carreras/minuto utilizando la tabla

Ejemplo: Se trata de desbastar en una limadora una placa de fundición gris, haciendo uso de un útil de cepillar de acero rápido. Longitud de carrera = 300 mm. Se quiere determinar el número de dobles carreras/minuto.

Solución: Velocidad de corte según la tabla 5.1, aproximadamente igual a 15 m/min.
Dobles carreras según la tabla 5.2 igual a 28 por minuto.

Tabla 5.1. Valores prácticos para la velocidad de corte (m/min) durante el cepillado

Material	Herramienta	Avance en mm/carrera				
		0,25	0,4	0,63	1	1,6
St 70	SS	16	12	10	8	6
	P30		42	36	30	25
Fundición de hierro GG 25	SS	14	10	8	7	5
	K10	32	28	26	25	22

Tabla 5.2. Elección del número de dobles carreras

Dobles carreras por minuto	Longitud de carrera en mm			
	100	200	300	400
	v_m en m/min			
28	5,3	10,2	14,2	18,2
52	9,8	19	26,2	33,6
80	15,2	29	41	52

Cálculo de las dobles carreras/minuto

$$\text{Dobles carreras/minuto } (n) = \frac{\text{velocidad media (en m/min)}}{\text{carrera doble (en m)}} \qquad \boxed{n = \frac{v_m}{2 \cdot L}}$$

Ejemplo: Longitud de carrera $L = 400$ mm; $v_m = 14$ m/min.
Calcúlese el número de dobles carreras/minuto.

Solución: $n = \dfrac{v_m}{2 \cdot L} = \dfrac{15 \text{ m/min}}{2 \cdot 0{,}4 \text{ m}} \approx 20$ dobles carreras/min.

Ajuste de la longitud de la carrera (fig. 5.24)

La longitud de la carrera se compone de la longitud de la pieza l, del recorrido anterior l_a y del recorrido ulterior l_u. Con objeto de evitar tiempos inútiles de marcha en vacío, l_a y l_u deben ser escogidos no demasiado grandes. Por lo general, se toma $l_a = 20$ mm y $l_u = 10$ mm.

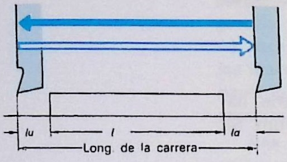


Figura 5.24 Ajuste de la longitud de carrera. *l*) Longitud de pieza; l_a) recorrido anterior; l_u) sobrerrecorrido.

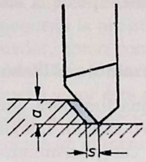


Figura 5.25 Avance y profundidad de corte. *a*) Profundidad de corte; *s*) avance.

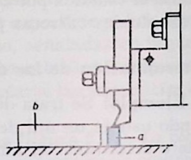


Figura 5.26 Ajuste del útil de cepillar por medio de calibres normales de caras paralelas. *a*) Calibre de caras paralelas; *b*) pieza.

Ajuste del avance y de la profundidad de corte (fig. 5.25)

La magnitud del avance se rige por el tipo de mecanizado que haya de realizarse.
Sección de viruta = profundidad de corte × avance; $S = a \cdot s$.
La sección de viruta debe ajustarse a la potencia de la máquina.
Al desbastar la profundidad de corte debe ser 3 a 5 veces mayor que el avance.
Al afinar hay que mantener con un valor pequeño tanto la profundidad de corte como el avance.

Prevención de accidentes al cepillar

1. Antes de embragar la máquina, hágase primeramente girar una vez con cuidado para tener la seguridad de que ni el carro ni la mesa tropiezan en ninguna parte.
2. Las virutas no deben separarse sino con un gancho adecuado o con una brocha.
3. No deben hacerse mediciones sino con la máquina parada.

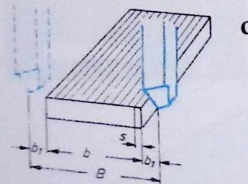


Figura 5.27 Doble carrera necesaria en el cepillado. *s*) Avance; b_1) recorrido lateral anterior y ulterior; *b*) anchura de la pieza; *B*) anchura de cepillado.

Cálculo del tiempo útil principal en el cepillado

L = longitud de la carrera; $L = l + l_a + l_u$
v_R = velocidad de retroceso en m/min
v_A = velocidad de corte en m/min
s = avance por cada doble carrera en mm
La ecuación fundamental para el cálculo del tiempo útil es:

$$\text{Tiempo} = \frac{\text{espacio}}{\text{velocidad}}$$

El espacio es la longitud de la carrera. Con las velocidades v_A y v_R pueden calcularse los tiempos para las carreras de trabajo y de retroceso.

Tiempo para la carrera de trabajo $t_A = \dfrac{\text{longitud de la carrera (en m)}}{\text{velocidad de corte (m/min)}}$

$$\boxed{t_A = \frac{L}{v_A}} \text{ en min.}$$

Tiempo para la carrera en vacío $t_R = \dfrac{\text{longitud de la carrera (en m)}}{\text{velocidad de retroceso (m/min)}}$

$$\boxed{t_R = \frac{L}{v_R}} \quad \text{en min.}$$

Tiempo empleado en la doble carrera t = tiempo de la carrera de trabajo + tiempo de la carrera en vacío. $\boxed{t = t_A + t_R}$

Para cepillar una pieza será necesario un determinado número de dobles carreras dependiente de la magnitud del avance y de la anchura de cepillado. La anchura de cepillado se deduce de la de la pieza más los recorridos laterales anterior y ulterior, que son de 5 mm cada uno (fig. 5.27).

Anchura de cepillado B = anchura pieza + recorridos laterales anterior y ulterior.

$$\boxed{B = b + 2 \cdot 5 \text{ mm}}$$

Si se divide la anchura de cepillado por el avance se obtiene el número necesario de dobles carreras.

Número necesario de dobles carreras $Z = \dfrac{\text{anchura de cepillado}}{\text{avance}}$ $\boxed{Z = \dfrac{B}{s}}$

El tiempo principal se calcula multiplicando el número de dobles carreras por el tiempo de cada doble carrera.

Tiempo útil principal t_{hu} = número dobles carreras × tiempo de una doble carrera $\boxed{t_{hu} = Z \cdot t}$

Ejemplo: Se trata de dar un cepillado de desbaste a una placa y queremos averiguar el tiempo principal.

Datos: longitud de la placa = 260 mm, anchura = 90 mm, l_a = 30 mm, l_u = 10 mm; v_A = 10 m/min, v_R = 20 m/min, avance = 1 mm/doble carrera, recorridos lateral anterior y ulterior = 5 mm cada uno.

Solución:

1. Longitud de carrera $L = l + l_a + l_u$ = 260 mm + 30 mm + 10 mm = 300 mm;
2. Tiempo para la carrera de trabajo $t_A = \dfrac{L}{v_A} = \dfrac{0{,}3 \text{ m}}{10 \text{ m/min}} = 0{,}03$ min;
3. Tiempo para la carrera en vacío $t_R = \dfrac{L}{v_R} = \dfrac{0{,}3 \text{ m}}{20 \text{ m/min}} = 0{,}015$ mm;
4. Tiempo para una doble carrera $t = t_A + t_R$ = 0,03 min + 0,015 min = 0,045 min;
5. Anchura de cepillado $B = b + 2 \cdot 5$ = 90 mm + 2 · 5 mm = 100 mm;
6. Número de dobles carreras necesario $Z = \dfrac{100 \text{ mm}}{1 \text{ mm/doble carrera}}$ = 100 dobles carreras;
7. Tiempo útil principal $t_{hu} = Z \cdot t$ = 100 dobles carreras × 0,045 min/doble carrera = 4,5 min.

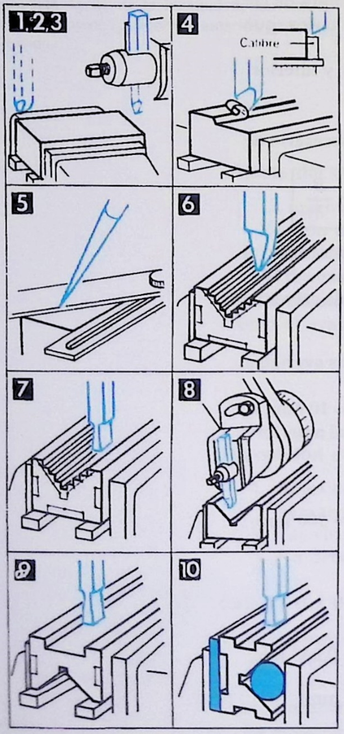
FABRICACIÓN DE PRISMAS DE APOYO PARA TALADRAR

Trabajo encargado

Hacer un prisma (fig. 5.28) con la limadora.

La pieza se suministra en longitud aproximada por exceso y con caras frontales trabajadas. Para el mecanizado se dispone de una limadora con accionamiento por biela.

Plan de trabajo



	Fases del trabajo	Herramientas
1	Sujeción de la pieza y nivelación y alineación	Tornillo de la máquina; piezas paralelepipédicas
2	Sujeción de la cuchilla de cepillar	Cuchilla de cepillar a la izquierda, recta
3	Ajuste del número de dobles carreras, de la longitud de la carrera y del avance	
4	Cepillado sucesivo de las caras longitudinales (ajústese la profundidad de corte con calibres normales de caras paralelas)	Cuchilla de cepillar a la izquierda, recta; cuchilla de cepillar de forma puntiaguda; calibres normales de caras paralelas
5	Trazado de la «uve», del vaciado inferior y de las ranuras	Escuadra; transportador; pie de rey; aguja de trazador; granete
6	Cepillado previo de la «uve»	Cuchilla de cepillar de forma puntiaguda
7	Sujeción de la cuchilla de tronzar y cepillado de la ranura	Cuchilla de cepillar para tronzar recta
8	Inclinación del cabezal portacuchilla, sujeción del útil de afinar y cepillado de las caras inclinadas	Cuchilla de cepillar de forma puntiaguda
9	Colocación del cabezal en posición normal, giro de la pieza y cepillado del vaciado inferior	Cuchilla de cepillar de forma puntiaguda; cuchilla de cepillar para tronzar
10	Giro de la pieza y sujeción de la misma; cepillado de las ranuras laterales	Cuchilla de cepillar para tronzar
11	Desbarbado	Lima fina
Instrumentos de medición y verificación: pie de rey, calibre de profundidades, escuadra, transportador universal.		

Mecanizado del prisma de apoyo

La pieza se sujeta en el tornillo de la máquina. Para ajustar la profundidad de corte se pueden emplear calibres normales de caras paralelas. El recorrido anterior debe ser de unos 20 mm y el ulterior de unos 10 mm. Dando por supuesto que puedan ajustarse

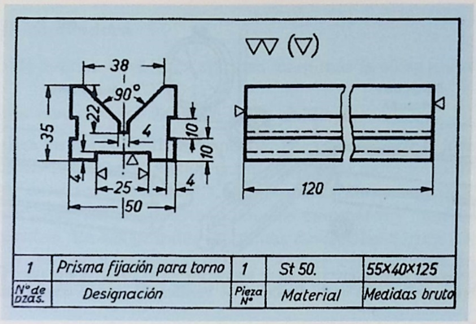


Figura 5.28 Plano de taller.

los números de dobles carreras reseñados en la tabla 5.2, sería adecuado adoptar 52 dobles carreras por minuto. Al cepillar las superficies inclinadas hay que atender a que éstas sean tales que su intersección sea paralela a las superficies de apoyo, pues de lo contrario al usar la pieza uve los taladros no resultarían verticales. Con objeto de que el útil de tronzar no se clave o no se quiebre hay que ajustarlo con avance pequeño. Antes de cepillar las caras inclinadas puede haberse también aserrado la ranura y en este caso estaría de más la operación N.º 7 del plan de trabajo.

Medición y verificación del prisma

Para la medición de longitud, anchura, altura, y anchura y profundidad de la ranura, basta con el pie de rey y el calibre de profundidades. Para verificar la planitud puede encontrar aplicación la regla de filo. La perpendicularidad de las caras exteriores entre sí se comprueba con la escuadra y el ángulo que forman las caras inclinadas con el transportador universal (figura 5.29). Para verificación de la forma, se utiliza fre-

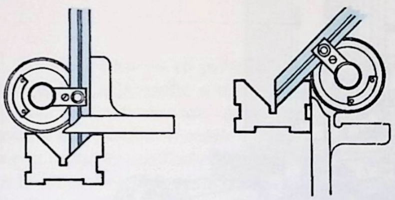


Figura 5.29 Medición con el transportador universal.

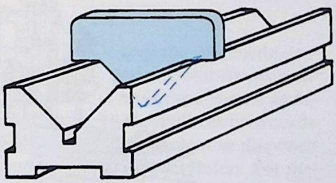


Figura 5.30 Verificación con la galga.

cuentemente una galga (fig. 5.30). La condición antes referida de que las caras sean tales que su intersección sea paralela a las bases o superficies de apoyo puede verificarse de diversos modos, como por ejemplo,con calibres normales de caras paralelas o con el comparador (fig. 5.31). El prisma se coloca para esto sobre el mármol de trazar, bien limpio previamente. Como elemento auxiliar se emplea una espiga o mandril de verificación que se coloca sobre las superficies inclinadas. Al verificar debe indicar el com-

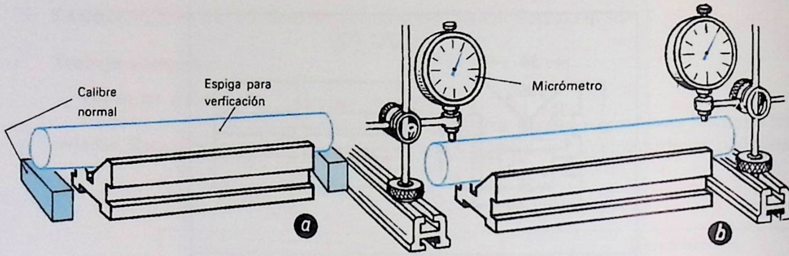


Figura 5.31 Comprobación de si la intersección de ambos planos es paralela a la superficie de la base. *a*) Verificación con calibres normales de caras paralelas; *b*) Verificación con el comparador.

parador, colocado en ambos extremos de la espiga, la misma desviación de la aguja. Para hacer esta prueba, como es natural, habrá que disponer el palpador del comparador sobre la parte más alta de la espiga de verificación. Con la verificación mediante *calibres de caras paralelas* se pone de manifiesto si es igual la distancia entre la espiga de verificación y el plano del mármol por ambos extremos de aquélla.

Cepillado en cepilladoras

Las cepilladoras se prestan para trabajar con piezas largas (por ejemplo bandas de guía). Para conseguir grandes rendimientos de viruta trabajar con varias cuchillas simultáneamente, pero desplazadas entre sí (por ejemplo cepillado en reja de arado).

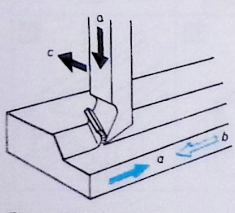


Figura 5.32 Movimiento en el cepillado en la máquina cepilladora longitudinal. *a*) Carrera de trabajo; *b*) carrera en vacío; *c*) movimiento de avance; *d*) movimiento de ajuste.

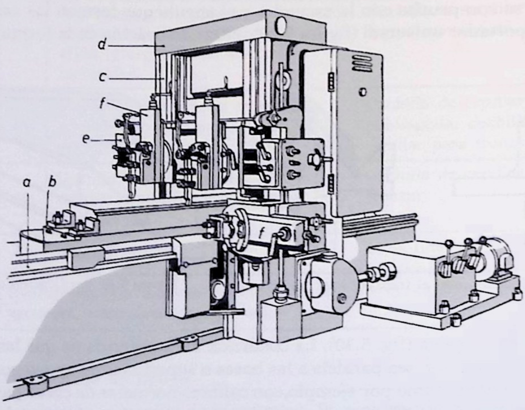


Figura 5.33 Máquina cepilladora de puente. *a*) Bancada; *b*) mesa; *c*) montantes; *d*) puente de unión; *e*) carro transversal; *f*) carro portaherramientas.

Constitución de la cepilladora

El movimiento de avance lo verifica en estas máquinas la pieza a trabajar sujeta sobre la mesa.

Hay cepilladoras con carrera de corte hasta de 20 m.

La mesa se desliza en las guías de la bancada. Para sujeción de la pieza está la mesa provista de ranuras en T. El carro portaherramienta puede moverse lateralmente sobre un carro transversal mediante un husillo. Como portaherramienta se utiliza una placa o charnela. El carro transversal va soportado por dos montantes y puede desplazarse en altura mediante husillos. En las grandes máquinas de cepillar corren a lo largo del carro transversal dos carros portaherramientas. Aparte esto, existen frecuentemente dos portaherramientas laterales que se utilizan para el mecanizado de las superficies verticales.

Las piezas de mucho tamaño que no caben entre los bastidores laterales se cepillan en la máquina de cepillar de un solo brazo.

El accionamiento principal (fig. 5.34) está dispuesto en la bancada de la máquina y transmite a la mesa el movimiento principal de ida y vuelta. Existen accionamiento de engranajes y accionamiento hidráulico.

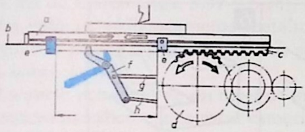


Figura 5.34 Mecanismo de accionamiento del movimiento principal. *a*) Mesa; *b*) bancada; *c*) cremallera; *d*) sistema de engranajes; *e*) tope graduable; *f*) palanca de inversión; *g*) varilla de mando para variar el sentido del accionamiento; *h*) varilla de mando para el avance.

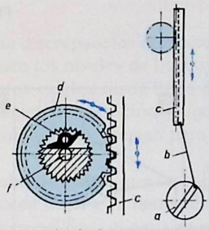


Figura 5.35 Modo de funcionar el mecanismo de avance. *a*) Disco-manivela; *b*) biela; *c*) cremallera; *d*) caja de arranque; *e*) trinquete; *f*) husillo para el carro portaherramienta. Es accionado por el trinquete.

La mesa tiene en su parte inferior una cremallera en la cual engrana una rueda dentada que es accionada, a través de un sistema de engranajes, por el motor de accionamiento. Después de cada carrera de trabajo debe retroceder la mesa para lo cual es necesario que cambie el sentido de rotación del accionamiento. La inversión es provocada por la mesa de cepillado. Correspondiéndose con la longitud de la carrera se disponen en la mesa dos topes graduables que chocan contra una palanca de inversión. Por medio de una varilla de mano se transporta el movimiento de las palancas a un sistema de transmisión por correas que realiza el cambio del sentido de rotación. Las máquinas más modernas tienen para la inversión del sentido de marcha un acoplamiento electromagnético. Para ahorrar tiempo, la velocidad de la mesa es mayor en la carrera de retroceso que en la carrera de trabajo.

El accionamiento del avance se establece mediante disco-manivela, cremallera y caja de arranque.

CEPILLADO DE REGLETAS DE GUÍA

Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado: Mecanizar en la cepilladora una regleta de guía (fig. 5.36) suministrada en longitud adecuada.

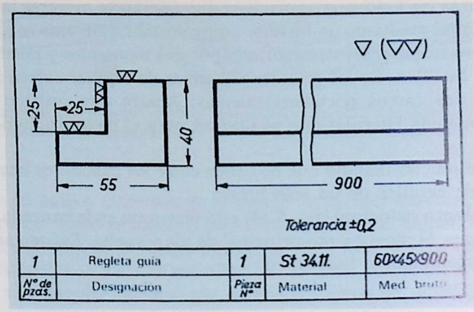
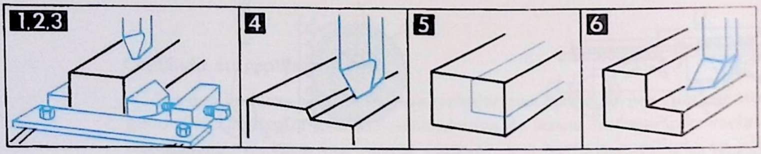


Figura 5.36 Plano de taller.



Plan de trabajo

	Fases del trabajo	Herramientas
1	Sujeción de la pieza y nivelación y alineación de la misma	Topes de sujeción, espigas de sujeción, tope frontal
2	Sujeción de la cuchilla de cepillar	Cuchilla de cepillar a la izquierda, recta
3	Ajuste del carro transversal a la altura necesaria, ajuste del número de dobles carreras, de la longitud de la carrera, de su posición y del avance	
4	Desbastado y afinado de caras laterales	Cuchilla de cepillar a la izquierda, recta; cuchilla de cepillar de forma puntiaguda; calibres normales de caras paralelas
5	Trazado del rebajo	Gramil; escuadra
6	Sujeción del útil de corte lateral y cepillado	Cuchilla de cepillar de esquina curva a la izquierda; calibres normales de caras paralelas
7	Desbarbado	Lima fina

Instrumentos de medición y de verificación: pie de rey, calibre de profundidades, escuadra, regla de filo, calibres normales de caras paralelas

Mecanizado de la regleta de guía

Puesto que la regleta no puede sujetarse por arriba habrá que emplear garras de sujeción, espigas o topes de sujeción y tope frontal. El número de dobles carreras necesario se determina teniendo en cuenta la longitud de la carrera y la velocidad de corte (véase pág. 177). La longitud de la carrera y su posición se pueden regular con ayuda de los topes graduables. Para ajustar la profundidad de corte se emplean calibres normales de caras paralelas.

Medición y verificación de la regleta

Las mediciones, la planitud y la perpendicularidad de caras se verifican del modo conocido por medio de pie de rey, calibre de profundidades, regla de filo y escuadra. Para verificar la profundidad del rebajo pueden emplearse también calibres normales.

Medición por medio de nivel de burbuja

Con niveles de burbuja se pueden medir pequeñas discrepancias respecto a la posición horizontal o vertical. Según DIN 877 se distinguen los niveles de burbuja corrientes y los de marco (figs. 5.37 y 5.38). Además de éstos existen otros tipos de niveles.

La caja es ordinariamente metálica. Las superficies de medición (superficies de apoyo) son planas o prismáticas. Las superficies prismáticas se prestan para su aplicación sobre árboles.

La parte principal de un nivel de burbuja es el **tubo de vidrio** que va encerrado en un cuerpo metálico; suele estar esmerilado, en forma de tonel y va lleno de éter, salvo una burbuja. El llenado con agua no daría suficiente movilidad; el agua se pegaría demasiado al vidrio y en invierno se congelaría. La burbuja de vapor de éter se encuentra siempre en la posición más alta posible, por lo cual cambia de sitio dentro del tubo a

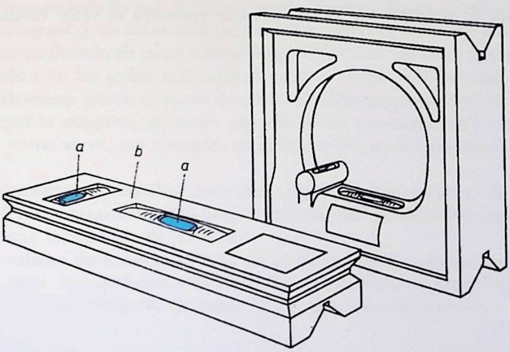


Figura 5.37 Nivel de burbuja. *a*) Tubo con burbuja; *b*) caja; (derecha) nivel de burbuja de marco.

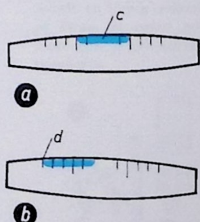


Figura 5.38 Nivel tubular de burbuja. *a*) Posición horizontal, burbuja en el centro *c*; *b*) posición inclinada, punto de lectura *d*.

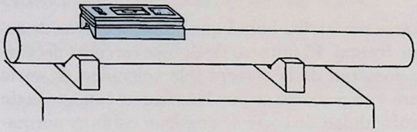


Figura 5.39 Nivelación de un árbol con el nivel de precisión.

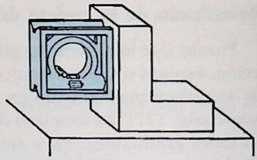


Figura 5.40 Verificación de la verticalidad por medio del nivel en forma de marco.

cada cambio de dirección de éste. La inclinación del nivel puede leerse en una escala marcada sobre el tubo de vidrio. El punto de referencia para hacer la lectura es el borde de la burbuja. Al separarse el nivel de la posición horizontal la burbuja se irá hacia la derecha o hacia izquierda.

Se llama **valor de la escala** en un nivel a la inclinación en mm/m que se aprecia por el desplazamiento de la burbuja en una división de la escala. Una nota sobre el nivel, por ejemplo, que diga «1 trazo de desviación = 0,2 mm por m» significa que cuando una superficie de 1 m de longitud se separa de la horizontal en 0,2 mm la burbuja se desplaza en una división.

Ejemplo: Al nivelar la bancada de una máquina de 2,5 m de longitud, el nivel de burbuja de sensibilidad = a 0,2 mm/m señala una desviación de 3 divisiones de la escala. ¿Cuántos milímetros habrá que levantar uno de los extremos de la bancada para que ésta guarde una posición horizontal?

Solución: En 1 m de longitud habrá que suplementar por debajo 3 · 0,2 mm = 0,6 mm. En 2,5 m tendremos que levantar 2,5 · 0,6 mm = 1,5 mm.

Clasificación por clases. De acuerdo con el valor de la escala se clasifican los niveles en las clases Ia, Ib, Ic, II, III y IV; por ejemplo,clase Ia valor de la escala 0,03 a 0,05 mm/m, clase II valor de la escala 0,2 a 0,4 mm/m y así sucesivamente. Al utilizarlos hay que procurar un apoyo impecable ya que las más minúsculas partículas de cuerpos extraños provocan errores de medición. Es recomendable hacer las mediciones invirtiendo el sentido. El resultado de la medición es entonces el valor medio.

Capítulo 6

Mecanizado de piezas en la mortajadora vertical

Por medio de la máquina de mortajar se realizan ranuras interiores, dentados interiores, vaciados, perfilados de superficies con bordes curvos, etc. (fig. 6.1). Como la máquina de mortajar trabaja de modo muy lento, ha sido desplazada por la máquina de brochar cuando se trata de trabajos en grandes series.

La herramienta hace el movimiento vertical principal. Los movimientos de avance y de ajuste corren a cargo de la pieza (fig. 6.2).

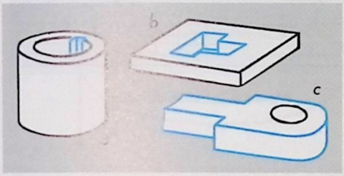


Figura 6.1 Ejemplos de piezas mortajadas. *a)* Agujero con chavetero; *b)* matriz de corte; *c)* cabeza de biela.

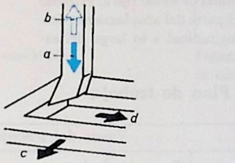


Figura 6.2 Movimientos en la operación de mortajar. *a)* Carrera de trabajo; *b)* carrera en vacío; *c)* movimiento de avance; *d)* movimiento de aproximación.

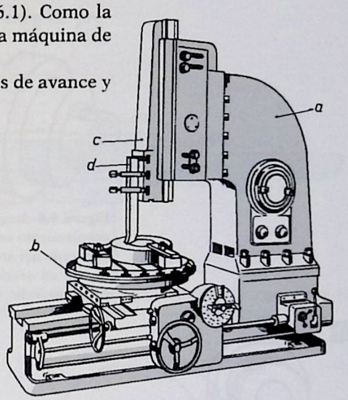


Figura 6.3 Máquina mortajadora vertical. *a)* Bastidor; *b)* mesa; *c)* carro; *d)* portaherramientas.

Constitución de la mortajadora vertical (fig. 6.3)

La pieza es soportada por la mesa, que es desplazable en sentido longitudinal y en sentido transversal, y en las máquinas pequeñas también en sentido vertical. Además de esto, el plato va dotado de movimiento de giro. El carro portaútil lleva el útil de mortajar y se desliza en las guías verticales de que va provisto el bastidor de la máquina.

Frecuentemente puede el carro desplazarse oblicuamente de tal modo que se pueda conseguir con la máquina mortajar superficies no solamente verticales, sino también inclinadas, como se ve, por ejemplo, en la figura 6.4, en el mecanizado de una matriz de corte.

El movimiento principal se consigue mediante un mecanismo de biela y cigüeñal. En virtud del desplazamiento del muñón del cigüeñal pueden obtenerse en el carro portaútil distintas longitudes de carrera.

El mecanismo de avance acciona los movimientos longitudinal, transversal y rotatorio de la mesa. Ese accionamiento de avance se deriva a su vez del movimiento principal. Una rueda de trinquete da lugar al movimiento intermitente.

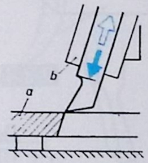


Figura 6.4 Mortajado con el carro portaútil colocado en forma oblicua. *a)* Pieza; *b)* carro portaútil con el útil correspondiente.

Útiles de mortajar

Para la operación de mortajar se usan útiles de una sola pieza o portaherramientas con cuchillas postizas (fig. 6.5). Como en todos los útiles de corte, existen también en estos útiles de mortajar el ángulo de incidencia, el del filo y el de ataque. La forma de los filos se rige por la de las piezas a trabajar.

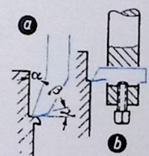


Figura 6.5 Útiles de mortajar. *a)* Útil de mortajar (útil de una sola pieza); *b)* portaherramientas con cuchilla postiza.

MORTAJADO DE RANURAS INTERIORES

Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado: Hacer en el agujero del acoplamiento de garras de la figura 6.7 una ranura interior para chaveta de deslizamiento.

El trabajo se realizará en una mortajadora.

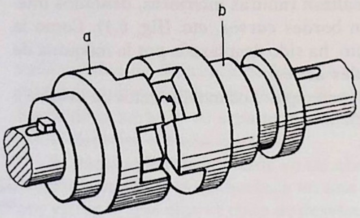


Figura 6.6 Acoplamiento de garras. *a*) Parte del acoplamiento enchavetada de modo fijo al extremo izquierdo del árbol; *b*) parte del acoplamiento deslizante en sentido longitudinal a lo largo del extremo derecho del árbol.

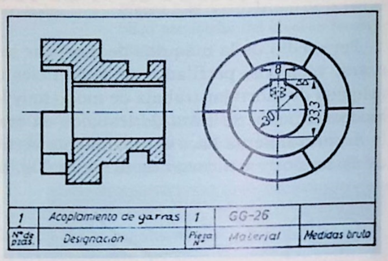


Figura 6.7 Plano de taller.

1



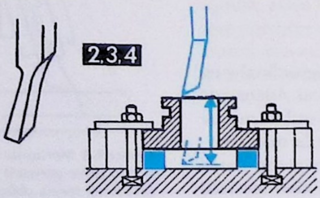


Figura 6.8 Útil de ranurar.

Plan de trabajo

	Fases del trabajo	Herramientas
1	Trazado de la ranura	Gramil; escuadra
2	Sujeción de la pieza	Bridas de sujeción; piezas paralelepipédicas: tornillos de sujeción
3	Sujeción del útil de ranurar	Útil de ranurar de 8 mm de anchura
4	Ajuste del número de dobles carreras, de la longitud de carrera y de la posición de ésta	
5	Mortajado de la ranura con avance a mano	
Instrumentos de medida y verificación: escuadra, pie de rey, comparador		

Mecanizado de la ranura interior

Al sujetar la pieza es especialmente importante atender a que quede bien centrada. Si la ranura no se mortaja en sentido axial, el árbol, el acoplamiento y la chaveta de deslizamiento no se podrían montar correctamente. El útil de mortajar ha de guardar cierta relación con la anchura de la ranura. Al ajustar la carrera se toma un sobrerrecorrido tan corto como sea posible. Con objeto de que el útil no deteriore la mesa, han de colocarse bajo la pieza el número suficiente de piezas paralelepipédicas. El recorrido anterior debe ser suficientemente grande para que quede tiempo disponible para el movimiento de avance. El avance se da a mano uniformemente.

Medición y verificación de la ranura interior

Al mecanizar el chavetero pueden cometerse distintos errores; por ejemplo, su anchura y su profundidad pueden no ser las exigidas, sus paredes pueden no ser paralelas al eje del taladro y la ranura puede no ser diametral.

La anchura de la ranura puede verificarse por medio de calibres normales de caras paralelas.

Al medir la profundidad de la ranura con el pie de rey hay que colocar las patas del mismo de tal modo que el plano medio que determinan pase por el eje del taladro (fig. 6.9).

Un instrumento especialmente adecuado para esta operación es el calibre de profundidades para ranuras interiores (fig. 6.10).

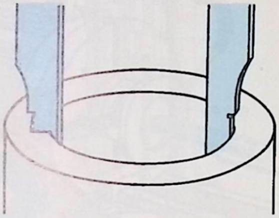


Figura 6.9 Medición de la profundidad de la ranura con el pie de rey.

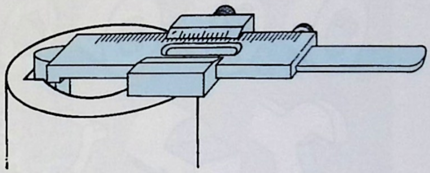


Figura 6.10 Medición de la profundidad de la ranura con el calibre de profundidades para ranuras interiores.

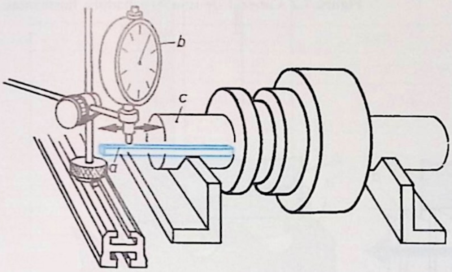


Figura 6.11 Verificación del paralelismo de la ranura con el taladro. *a*) Chaveta de ajuste; *b*) comparador; *c*) espiga de verificación.

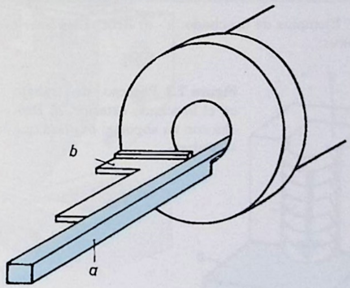


Figura 6.12 Verificación de la perpendicularidad de la ranura con la cara frontal. *a*) Chaveta de ajuste; *b*) escuadra.

El paralelismo de la ranura con el taladro puede comprobarse de diversos modos. Para la verificación por medio del comparador (figura 6.11) se introduce en el acoplamiento una espiga de verificación, ajustada, y en la ranura una chaveta también ajustada. Las piezas así acopladas se colocan sobre dos apoyos prismáticos de igual altura. En un extremo de la chaveta se ajusta a cero el comparador. Cuando la ranura es paralela al taladro, la aguja del comparador no acusará desviación alguna al pasar el palpador a lo largo de la chaveta de ajuste.

Bajo el supuesto de que la cara frontal del acoplamiento es normal al taladro (fig. 6.12), puede también ponerse de manifiesto ese paralelismo con ayuda de una chaveta de ajuste introducida en la ranura y de una escuadra siguiendo el método de la rendija de luz.

La posición diametral de la ranura puede comprobarse por rotación de modo análogo a como se hace para la ranura de un árbol (véase pág. 161, fig. 4.59).

Capítulo 7

Brochado de piezas

En la fabricación en serie se mecanizan frecuentemente las caras interiores y exteriores de piezas metálicas pequeñas y de tamaño mediano por medio del brochado (fig. 7.1). Brochar es arrancar virutas con un útil de varios filos (brocha). Mediante el *brochado interior* (figura 7.2) se mecanizan principalmente agujeros con perfiles diversos.

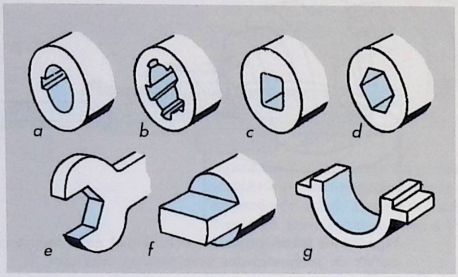


Figura 7.1 Ejemplos de brochado. *a - d*) Brochados interiores; *e - g*) brochados exteriores.

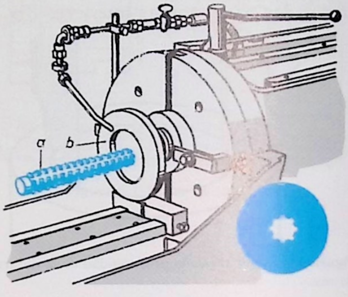


Figura 7.2 Cabezal de una brochadora horizontal.

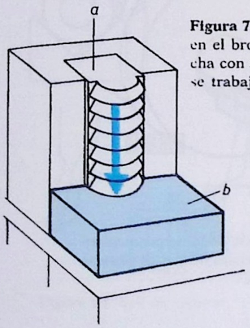


Figura 7.3 Proceso de trabajo en el brochado exterior. *a*) Brocha con su soporte; *b*) pieza que se trabaja.

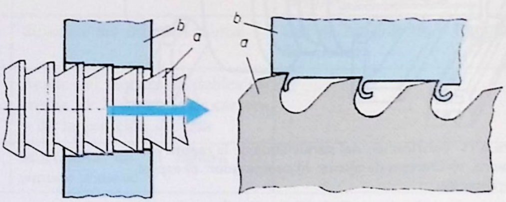


Figura 7.4 Proceso de trabajo en el brochado interior. *a*) Brocha; *b*) pieza que se trabaja.

Para ello se empuja o se tira de una brocha, provista de multitud de dientes cortantes, a través de un agujero previamente taladrado y se elimina por arranque de viruta el exceso de material. El *brochado exterior* (figura 7.3) se emplea frecuentemente en determinadas piezas en vez del fresado. El útil de brochar exteriormente, que va también provisto de dientes, se pasa longitudinalmente a lo largo de la pieza que se quiere mecanizar.

Mediante el brochado se consiguen, con poco tiempo de mecanizado, piezas de dimensiones exactas y de elevada calidad superficial. Para cada forma de pieza se necesita una brocha especial. Como son caras, el procedimiento no resulta económico nada más que para grandes series. En una máquina de brochar horizontal pueden mecanizarse por hora de 60 a 120 piezas y en una vertical de 100 a 200 piezas. Este rendimiento es sobrepasado, incluso, en casos especiales.

Brochadoras

Estas máquinas no necesitan dar nada más que el movimiento principal longitudinal al útil y son, por esta razón, de constitución muy sencilla. El movimiento de avance queda cumplido por la herramienta en virtud de los filos, cada vez un poco más grandes, de la brocha.

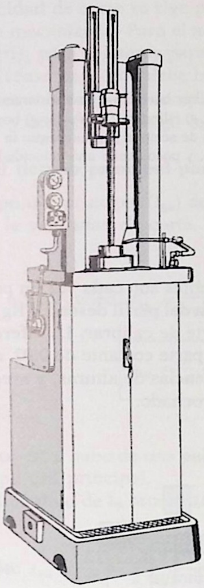


Figura 7.5 Maquina vertical de brochar interiormente.

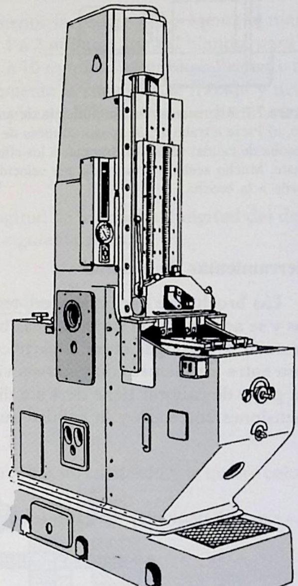


Figura 7.6 Maquina vertical de brochar exteriormente.

Existen brochadoras de interiores y brochadoras de exteriores y ambas en tipo horizontal y en tipo vertical (fig. 7.5 y 7.6). El movimiento principal es por cremallera o hidráulicamente (fig. 7.7).

En el brochado interior la pieza es empujada por la presión de trabajo contra la mesa y no necesita, por lo general, estar sujeta de ningún modo especial. Por el contrario, la presión unilateral ejercida en el brochado exterior sobre la pieza exige que ésta quede sujeta en montajes especiales.

Depende de cada caso especial el decidir si viene mejor para el brochado una máquina horizontal o una vertical. Las máquinas horizontales son más baratas y tienen aplicaciones más variadas, pero su rendimiento es menor que el de las verticales. Además de esto, ocupan más sitio en el taller.

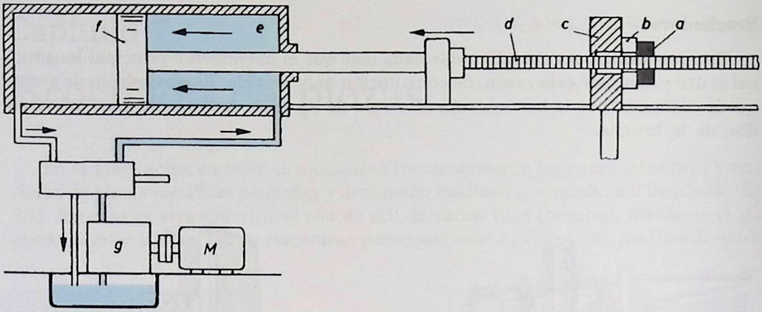


Figura 7.7 Representación simplificada de una máquina de brochar horizontal con accionamiento hidráulico. *a*) Pieza a trabajar; *b*) apoyo; *c*) mesa de trabajo; *d*) brocha; *e*) cilindro; *f*) émbolo; *g*) bomba de aceite (bomba de caudal variable). Impulsa a los cilindros más o menos de aceite a presión según la magnitud del ajuste. Mucho aceite a presión da una velocidad de corte grande, y poco aceite una velocidad de corte pequeña a la brocha.

Herramientas de brochar

Las brochas se hacen de acero templado. Los dientes son cada vez un poco más altos y se adaptan en el extremo de la brocha a la forma del perfil deseado (fig. 7.8). En el dentado se distingue entre la parte cortante y la parte de calibrar. La diferencia de altura entre los dientes consecutivos viene a ser en la parte cortante de 0,02 a 0,12 mm. La parte de calibrar tiene de 4 a 6 dientes, sin diferencias de alturas, y asegura las dimensiones correctas y la calidad superficial del brochado.

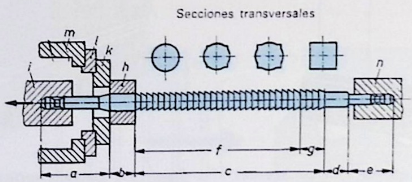


Figura 7.8 Brocha en posición de trabajo. *a*) Mango; *b*) guía de entrada; *c*) dentado; *d*) guía; *e*) extremo; *f*) parte de corte; *g*) parte de calibrar; *h*) pieza a mecanizar; *i*) pieza portaútil; *k*) apoyo; *l*) placa de sujeción; *m*) cuerpo de la máquina; *n*) soporte de acompañamiento.

La brocha para interiores se sujeta por su mango en el soporte correspondiente. La parte de guía, que debe ajustar con juego muy ligero en el agujero previamente taladrado, lleva la pieza a una posición centrada. Con objeto de que no cuelgue por su extremo cuando se trata de una larga, se apoya aquél en un soporte de acompañamiento.

Las herramientas de brochar exteriormente van fijas, por lo general, en soportes portaútiles.

Los filos de las brochas son duros y agudos y, por lo tanto, delicados. Para evitar que se deterioren no deben entrar en contacto con objetos duros. Deben colocarse, por el contrario, siempre sobre fondos de madera o de fieltro.

Normas de trabajo para el brochado

Para el brochado interior de piezas han de estar éstas previamente taladradas y provistas de una cara frontal de apoyo que debe ser perpendicular al taladro. Como hay que contar que la brocha pueda desviarse eventualmente durante el brochado interior, por lo general, lo que se hace es terminar de mecanizar las piezas que han de ir brochadas, después de efectuado el brochado. El agujero brochado sirve así de guía para el mecanizado ulterior. Las piezas que han de brocharse exteriormente se sujetan por lo general en montajes y han de ser dotadas, antes de la operación de brochado, de las superficies de apoyo adecuadas.

La velocidad de corte se rige por la mayor o menor facilidad que presente el material para su mecanizado. Para el acero duro es de 1 a 2 m/min y para el blando, para la fundición gris, para el latón y para el bronce, de 2 a 10 m/min. El líquido lubricante refrigerante (véase pág. 168) debe bañar abundantemente la zona que se trabaja y tiene las siguientes misiones que cumplir: refrigerar la pieza y la herramienta, disminuir el rozamiento y arrastrar consigo las virutas.

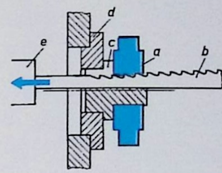


Figura 7.9 Brochado de una ranura con brocha. *a*) Pieza; *b*) Brocha para ranurar; *c*) apoyo-guía; *d*) placa de sujeción; *e*) portaútil.

Cálculo del tiempo principal para el brochado

El tiempo útil principal (t_{hu}) depende de la longitud de la brocha (longitud del dentado) y de la velocidad de corte. Se calcula del siguiente modo:

$$\text{Tiempo útil principal } t_{hu} = \frac{\text{longitud de la brocha (en m)}}{\text{velocidad de corte (en mm/min)}} \; ;$$

$$\boxed{t_{hu} = \frac{L}{v} \text{ en minutos.}}$$

Ejemplo: en el cubo de una palanca hay que brochar un cuadrado y se quiere calcular el tiempo útil principal.

Datos: Longitud de la brocha (longitud del dentado) = 0,9 m; velocidad de corte = 2 m/min.

Solución: $t_{hu} = \frac{L}{v} = \frac{0{,}9 \text{ m}}{2 \text{ m/min}} = 0{,}45 \text{ min.}$

BROCHADO DE PIEZAS CON AGUJERO DE RANURAS MÚLTIPLES

La rueda dentada desplazable (fig. 7.11) va unida al árbol por medio de un perfil de chavetas múltiples. Este tipo de enlace encuentra preferentemente aplicación en mecanismos de accionamiento sometidos a fuertes solicitaciones, como sucede, por ejemplo, en los mecanismos de accionamiento de tornos y de automóviles. Con respecto a la unión por medio de una chaveta de deslizamiento única, presenta la ventaja de que las ranuras de que se dota ahora al árbol son muy planas. Con esto resulta el árbol menos debilitado y el momento de torsión es soportado por igual en toda la periferia. Los perfiles están normalizados.

Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado: Dotar de un perfil de ranuras múltiples a una serie de ruedas dentadas desplazables (fig. 7.10).

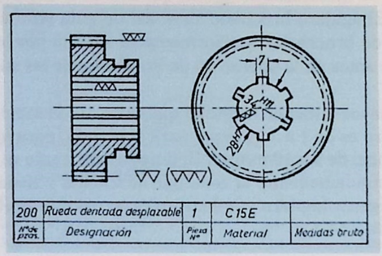


Figura 7.10 Plano de taller.

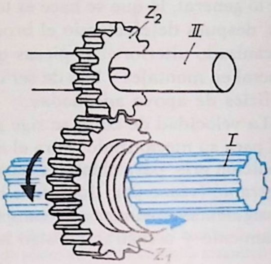


Figura 7.11 Modo de actuar una rueda dentada deslizante. La rueda dentada Z_2 va fija al árbol II; la rueda dentada Z_1 puede deslizarse por el árbol I.

Si se trata de fabricar piezas sueltas se empleará para el mecanizado la máquina de mortajar, pero como en este caso se trata de mecanizar un gran número de piezas, resulta más económico el brochado.

En el brochado interior puede sufrir alguna desviación la brocha. Este defecto tiene que ser corregido en las piezas que hayan de ser exactas, mediante una adecuada elección de los procesos de trabajo anejos al de brochado. Por esta razón en esta clase de mecanizado constituirá el brochado una de las primeras fases del trabajo.

Plan conjunto de fabricación para la obtención de ruedas deslizantes

	Fases del trabajo	Máquinas herramientas
1	Taladrado, desbastado previo de la forma exterior; la cara frontal grande, normal al taladro	Torno corriente o semiautomático
2	Brochado del taladro del cubo y de las ranuras; calibrado del fondo de las ranuras y del taladro	Máquina de brochar
3	Afinado sobre mandril de todas las superficies exteriores	Torno ordinario
4	Fresado de los dientes	Fresadora para ruedas dentadas
5	Templado	
6	Rectificado del taladro y de los flancos de los dientes	Máquina de rectificar

Verificación de las piezas de ranuras múltiples

En la fabricación en serie se emplean galgas fijas para comprobar esta clase de piezas.

Capítulo 8

Esmerilado de piezas

Los trabajos corrientes que se hacen con la muela son el afilado de herramientas y el mecanizado de piezas templadas y sin templar. En el esmerilado de piezas se trata de eliminar las irregularidades (desbarbar) o de conseguir piezas redondas o planas de gran exactitud de medidas y de elevada calidad superficial (rectificado) (fig. 8.1).

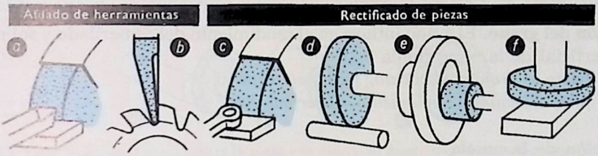


Figura 8.1 Ejemplos de trabajos de esmerilado. *a)* Afilado de un útil de torno; *b)* afilado de una fresa; *c)* desbarbado de una palanca; *d)* esmerilado cilíndrico de un árbol; *e)* esmerilado interior de un casquillo; *f)* esmerilado plano de una regleta.

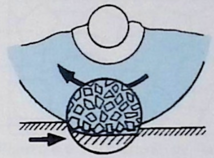


Figura 8.2 Modo de trabajar la muela.

El esmerilado es un procedimiento de trabajo con *arranque de viruta* mediante forma geométricamente indeterminada de los filos cortantes (granos abrasivos). Como útil de esmerilado se emplea generalmente un disco rotativo llamado muela. De su superficie resaltan granos de material abrasivo que dan lugar con sus aristas y vértices al arranque de virutas (fig. 8.2).



Figura 8.3 Partes constituyentes de la muela. *a)* Granos; *b)* aglutinante.

Composición de las muelas

Las muelas están compuestas por granos abrasivos duros y de cantos afilados (medio esmerilante) reunidos entre sí por un material aglutinante (fig. 8.3).

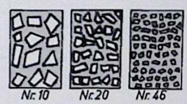


Figura 8.4 Ejemplos de distintos granos (tamaño exagerado).

Materiales abrasivos

Clases. Existen materiales abrasivos naturales y artificiales.

Los *materiales abrasivos naturales* son el corindón natural y el esmeril; el cuarzo está contenido como material abrasivo natural en la piedra arenisca.

Se emplean preferentemente los *materiales abrasivos artificiales* siguientes:

Corindón artificial (óxido de aluminio); se obtiene de la arcilla en el horno eléctrico; existen el normal (NK), el semipuro (HK) y el puro (EK).

Carburo de silicio (SC); se obtiene partiendo de arena de cuarzo y polvo de carbón; tiene coloración gris o verde.

Fragmentos de diamante (DT), constituyen el abrasivo más duro.

Elección de los materiales abrasivos. El corindón artificial se emplea para materiales tenaces como, por ejemplo, el acero; el carburo de silicio, para materiales frágiles como, por ejemplo, la fundición (tabla 8.2); el diamante, para afilar metal duro.

Grano de los materiales abrasivos. Los materiales abrasivos se desmenuzan en molinos. Los distintos tamaños de las partículas obtenidas es lo que se llama *granulado*. Para fabricar muelas más bastas o más finas se clasifica el grano según sus distintos tamaños por medio de cribado. El grano se designa por medio del número de la criba a través de cuyas mallas pasa, indicándose con números arábigos (tabla 8.1).

Tabla 8.1. Grano, dureza y estructura de las muelas

Grano						Dureza					Estructura	
Muy basto	8	10	12			Muy blanda	E	F	G		Muy compacta	0 a 1
Basto	14	16	20	24		Blanda	H	I	J	K	Compacta	2 a 3
Medio	30	36	46	50	60	Media	L	M	N	O	Media	4 a 5
Fino	70	80	90	100	120	Dura	P	Q	R	S	Abierta	6 a 7
Muy fino	150	180	200	220	240	Muy dura	T	U	V	W	Muy abierta	8 a 9
Polvo	280	320	400	500	600	Extr. dura	X	Y	Z			

Elección del grano. El grano influye en el rendimiento del esmerilado y sobre la calidad superficial de la pieza (tabla 8.2).

Grano basto — gran rendimiento, superficie áspera.

Grano fino — pequeño rendimiento, superficie lisa.

Aglutinación de la muela

Los innumerables granos abrasivos de que está constituida una muela se mezclan con un material aglutinante y se moldea para darle la forma de disco.

El **aglutinante cerámico** está compuesto por feldespato, arcilla y cuarzo. Las muelas moldeadas se cuecen. Más del 75 % de las muelas están aglutinadas cerámicamente. Estas muelas son sensibles a los golpes y choques, pero soportan bien los calentamientos.

El **aglutinante de magnesita** (Mg), es sensible a la humedad y las muelas no son apropiadas nada más que para el esmerilado en seco.

Tabla 8.2. Normas para la elección de muelas (esmerilado a máquina) (Extracto de DIN 69102)

Esmerilado exterior	Diámetro de la muela en milímetros		
Material	hasta 350 mm	más de 350 a 450	más de 450 a 600
Acero templado	EK 60 L	EK 50 L	EK 46 L
Acero sin templar	NK 60 M	NK 50 M	NK 46 M
Fundición de hierro	SC, EK 60 I	SC, EK 50 J	SC, EK 46 J
Esmerilado interior	Diámetro de la muela en milímetros		
Material	hasta 16 mm	más de 16 hasta 36	más de 36 hasta 80
Acero templado	EK 80 L	EK 60 K	EK 46 J
Acero sin templar	NK 80 M	NK 60 L	NK 46 J
Fundición de hierro	SC 80 K	SC 60 J	SC 46 I
Esmerilado plano	Diámetro de la muela en milímetros		
Material	Muela recta hasta 200 mm	Muela de vaso hasta 200 mm	Muela de segmentos
Acero templado	EK 46 J	EK 36 J	EK 30 J
Acero sin templar	EK, NK 46 K	EK, NK 46 K	EK, NK 24 K
Fundición de hierro	EK, SC 46 I	EK, SC 46 I	EK, SC 30 J

Los **aglutinantes de silicato** (Si), son resistentes al agua y pueden emplearse para el trabajo húmedo.

Los **aglutinantes de caucho, goma laca y resina sintética**, son tenaces y elásticos. Resultan adecuados para muelas delgadas y perfiles afilados. El aglutinante de resina sintética puede emplearse para muelas que hayan de trabajar a altas temperaturas. El caucho y la goma laca se hacen pegajosos con el calentamiento.

Las **muelas de diamante** tienen el disco central de metal. Únicamente la periferia de la muela contiene los fragmentos de diamante aglutinados en resina sintética o en una aleación sinterizada de cobre y estaño.

La elección del aglutinante se rige por el tipo de esmerilado, por ejemplo, afilado de herramientas, esmerilado cilíndrico o esmerilado plano, por el material a esmerilar y por el tamaño de la superficie de contacto entre la muela y la pieza (fig. 8.5).

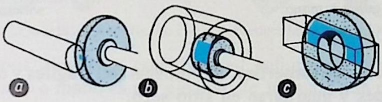


Figura 8.5 Superficies de contacto entre la pieza y la muela. *a*) Superficie de contacto pequeña (esmerilado cilíndrico); *b*) superficie de contacto mayor (esmerilado interior); *c*) superficie de contacto grande (esmerilado plano).



Figura 8.6 Estructura de las muelas de esmerilar (dibujo exagerado). *a*) Grano; *b*) aglutinante; *c*) poro.

Dureza de las muelas. Cuando al trabajar se hace romo un grano, es arrancado de la masa aglutinante en virtud del aumento de la presión de corte. La designación de las muelas como blandas o duras no se refiere a la dureza de los granos, sino a la clase de aglutinante. Las muelas duras lo son porque tienen un aglutinante más duro que las blandas. El grado de dureza de las muelas se designa por letras (tabla 8.1).

Elección del grado de dureza. Los granos abrasivos desgastados tienen que soltarse de la masa aglutinante y dejar el sitio a granos cortantes; por esta razón diremos:

muelas blandas para materiales duros,
muelas duras para materiales blandos.

Las grandes superficies de contacto (Fig. 8.5) dan lugar a un rápido desgaste de granos y exigen por esta razón muelas blandas. Hay que distinguir en la dureza de la muela entre la propia y la de trabajo. La primera, es en reposo; la segunda depende de la velocidad periférica. Una muela es tanto más blanda cuanto menor sea su velocidad periférica.

Estructura de las muelas. Llamaremos estructura de una muela a la manera de estar en ella distribuidos los granos abrasivos, el material aglutinante y los poros (fig. 8.6). En una estructura abierta, los poros son mayores que en una estructura compacta. La naturaleza de la estructura se designa con números arábigos (tabla 8.1).

Elección de la estructura. Cuanto mayor haya de ser el rendimiento de virutas, tanto más abierta o porosa ha de ser la estructura con objeto de que las virutas que se desprendan puedan ser admitidas en los poros.

Muelas de esmerilar

Forma de las muelas. Para los distintos trabajos de esmerilado existen muelas de formas adecuadas a ellos (fig. 8.7). La forma y las dimensiones de las muelas están normalizadas.

Ejemplo de designación:

Muela recta de diámetro $D = 250$ mm, anchura $B = 25$ mm, agujero $d = 76$ mm, corindón puro(EK), grano 46, dureza L, estructura media (4), aglutinante cerámico (Ke): Muela 250 × 25 × 76 DIN 69120 EK 46 L 4 Ke.

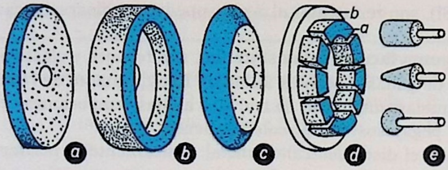


Figura 8.7 Ejemplos de diversas muelas de esmeril. *a*) Muela recta o plana, en general para trabajar por la superficie lateral del cilindro; *b*) muela de vaso para trabajar por la cara frontal; *c*) muela de forma; existen las formas más diversas de muelas para esmerilar perfiles; *d*) muela de segmentos para esmerilar piezas de gran superficie; los segmentos (*a*) van fijados a un disco soporte (*b*); *e*) muelas montadas para esmerilar perfiles; se accionan mediante un eje flexible y se guían a mano.

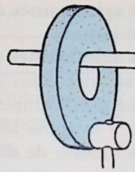


Figura 8.8 Prueba de sonido. La muela libremente suspendida debe dar, al ser golpeada con el mazo de madera, un tono claro, limpio. Las muelas con aglutinante vegetal no son sonoras.

Manejo de las muelas de esmerilar. Las muelas son frágiles y deben ser protegidas contra choques y golpes y guardarse en sitio seco.

Sujeción de la muela de esmerilar. Antes de sujetarla en el husillo portamuela hay que comprobar por una prueba de sonido (fig. 8.8), si está rajada.

Con objeto de que la muela trabaje uniformemente y se obtenga una superficie esmerilada limpia, debe ser equilibrada previamente (fig. 8.9).

La muela se fija al husillo portamuela entre dos bridas *vaciadas* en su parte central por torneado (fig. 8.10).

Rectificado de las muelas. Mediante el rectificado se hace que las muelas embotadas por el uso, vuelvan a arrancar viruta; además se les restituye su forma circular. Hay diversos tipos de aparatos de rectificar muelas. Para rectificar muelas de esmerilado basto se utilizan ruedecillas estriadas de acero duro. Para conseguir un rectificado muy exacto se prestan bien los diamantes de rectificar (fig. 8.11).

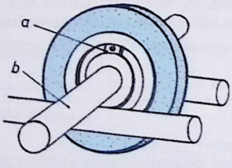


Figura 8.9 Equilibrado de la muela de esmerilar. *a*) Peso de compensación; *b*) espiga de verificación. Los pesos de compensación se corren en la ranura anular y se fijan mediante tornillos.

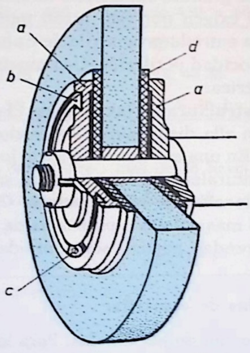


Figura 8.10 Sujeción de la muela de esmerilar. *a*) Brida de sujeción (diámetro 1/2 a 2/3 del diámetro de la muela); *b*) ranura anular; *c*) peso de compensación; *d*) disco intermedio de cartón, fieltro o cuero.

Velocidad periférica de las muelas de esmerilar. La velocidad periférica de una muela de esmerilar se designa también como velocidad de corte y se da en metros por segundo, por ejemplo, 25 m/s.

Al aumentar la velocidad periférica crece también el peligro de que la muela salte en pedazos como consecuencia de la fuerza centrífuga, pudiendo ocasionar accidentes los trozos que salen disparados. Las normas de seguridad fijan para los distintos materiales aglutinantes y para las distintas clases de trabajo, determinadas velocidades

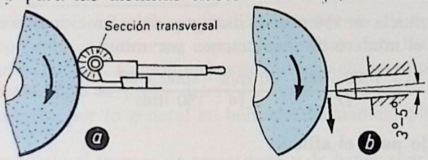


Figura 8.11 Rectificado de la muela. *a)* Rectificado con una ruedecilla de acero; *b)* rectificado con diamante.

máximas. Para cuerpos abrasivos con material aglutinante cerámico, la velocidad máxima para esmerilado a mano es, por ejemplo, de 30 m/s. Toda muela debe ser sometida antes de usarla a una prueba de funcionamiento de 5 minutos.

Cálculo de la velocidad periférica:

v_s = velocidad periférica de la muela de esmerilar en m/s;

D = diámetro de la muela de esmerilar en mm;

n = número de revoluciones por minuto de la muela de esmerilar.

Ejemplo: Una muela de ∅ 275 da un número de revoluciones $n = 1700$ rev/min. Se quiere calcular v_s.

Solución: $$v_s = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000 \cdot 60} = \frac{3{,}14 \cdot 275 \text{ mm} \cdot 1700 \text{ rev/min}}{1000 \cdot 60} \approx 25 \text{ m/s}.$$

Afilado de herramientas

Las herramientas, por ejemplo las fresas, llevan muchas veces un rótulo con la indicación «afilar con frecuencia». Las herramientas embotadas aumentan el tiempo invertido en el trabajo y dan un mecanizado sucio. Cuando el filo de una herramienta está fuertemente desgastado hay que llevarse con el abrasivo mucho material. Con esto no solamente se pierde un valioso acero de herramientas, sino que se corre el peligro de que la herramienta pierda su poder cortante por el fuerte calentamiento que experimenta durante el afilado. Resulta en definitiva más ventajoso eliminar los pequeños desgastes mediante un afilado frecuente.

Máquinas para el afilado de herramientas

La esmeriladora de pedestal se emplea generalmente para afilar a mano herramientas de un solo filo, como por ejemplo cinceles, útiles de torno y de cepillar, etc. (véase página 29). El pedestal lleva un árbol portamuela soportado horizontalmente, que puede ir provisto de muela en uno de sus extremos o en ambos. Las mesas de apoyo de estas máquinas suelen llevar generalmente una graduación angular.

La máquina de afilar universal se utiliza para afilar herramientas de varios filos, por ejemplo, escariadores, fresas, brocas helicoidales, etc. Los útiles a afilar se sujetan en la máquina y se acercan con movimiento forzado contra la muela de afilar (véase pág. 149).

Elección de las muelas de afilar. Para afilar herramientas se usan muelas de corindón de dureza y grano medios. Frecuentemente se afilan las herramientas, por ejemplo las de torno y las de cepillar, primero en una muela basta y después en otra fina.
fina.

Velocidad de corte y número de revoluciones de las muelas

La velocidad de corte se deduce de la tabla 8.3. El número de revoluciones puede calcularse o tomarse de tablas.*

Cálculo del número de revoluciones:

Número de revoluciones de la muela $\boxed{n = \dfrac{v_s \cdot 1000 \cdot 60}{\pi \cdot D}}$ por minuto.

Ejemplo: Una muela de 150 mm de diámetro debe funcionar con una velocidad de 20 m/s. Calcúlese el número de revoluciones por minuto.

Solución: $n = \dfrac{v_s \cdot 1000 \cdot 60}{\pi \cdot D} = \dfrac{20 \text{ m/s} \cdot 1000 \cdot 60}{3{,}14 \cdot 150 \text{ mm}} \approx 2550$ rev/min.

Normas de trabajo para el afilado

1. Afílese contra el filo, pues en caso contrario se forma rebaba en él.
2. Manténgase ligera la presión con objeto de evitar que el calentamiento sea demasiado fuerte.
3. En el afilado en húmedo hay que procurar que la afluencia de refrigerante sea abundante; una refrigeración a gotas hace que se produzcan grietas en la herramienta. Con objeto de poder observar el proceso de la operación de afilado, a veces hay que trabajar en seco. Cuando una herramienta haya adquirido, en virtud de haberse afilado en seco, una alta temperatura, no debe enfriarse repentinamente en agua (grietas de tensiones internas).
4. Obsérvense las prescripciones de prevención de accidentes (véase pág. sig.).

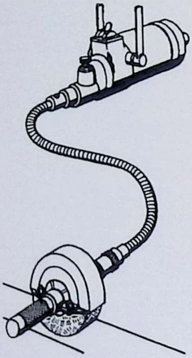


Figura 8.12 Esmeriladora con eje flexible.

Esmerilado de las irregularidades de las piezas

Las barbas de las piezas de fundición, las rebabas de las piezas prensadas y cualquier otra clase de irregularidad de superficie se eliminan frecuentemente mediante esmerilado a mano. Las piezas fácilmente manejables se esmerilan en la muela de pedestal. Cuando no pueden acercarse a la muela, como sucede, por ejemplo, en piezas grandes o complicadas de fundición, con los carriles, con las piezas de construcción metálica, etc., se usan esmeriladoras portátiles (fig. 8.12). La muela es en estos casos accionada por un motor a través de un eje flexible. Este último puede curvarse como una manguera en todas direcciones y hace posible que la muela pase por todos los sitios que hayan de ser esmerilados. Cuando se trata de eliminar las irregularidades y protuberancias de las piezas, se lleva a cabo, en general, un esmerilado basto.

Los aparatos de esmerilar dotados de eje flexible se emplean también para estampas, plantillas, etc.

Tabla 8.3. Aglutinante y velocidad de corte en el afilado de herramientas y en el desbarbado a mano

Tipo de esmerilado	Pieza de	Aglutinante	Velocidad de corte en m/s
Afilado herramientas	Acero de herramientas, acero rápido, metal duro	cerámico vegetal	15 a 25 15 a 25 hasta 45
Desbarbado y limpieza a mano	Metal ligero, fundición gris, bronce acero, fundición maleable	cerámico	15 25 30

* Véase Jütz-Scharkus. *Prontuario de metales*. Editorial Reverté, S. A., Barcelona.

Lubricación refrigerante durante el esmerilado

Las chispas que se producen durante el esmerilado (virutas metálicas incandescentes) muestran claramente que en virtud del rozamiento entre la pieza y la muela se producen altas temperaturas. El calor se transmite a la muela y a la pieza. La muela puede estallar en pedazos a causa del calentamiento. La pieza puede deformarse y si está templada puede perder el temple. El color que adquiere la pieza es señal segura de que hay sobrecalentamiento.

Con objeto de disipar el calor se emplea la refrigeración. El líquido refrigerante, que al mismo tiempo debe arrastrar las virutas producidas, debe bañar con un potente chorro la parte que se trabaja. Como lubricante refrigerante se emplea emulsión para esmerilar con un contenido de aceite del 1 al 2 % (E 1 – 2 %).

El acero se esmerila, por lo general en húmedo; la fundición, con frecuencia, en seco.

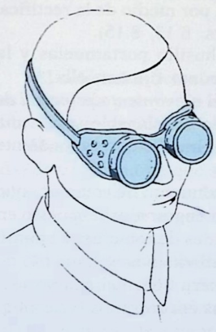
Después de terminado el trabajo de esmerilado y de haber suprimido la afluencia del líquido refrigerante, debe seguir la muela rodando un corto espacio de tiempo con objeto de que expulse el líquido con que está humedecida.

El esmerilado en seco *tiene que emplearse* cuando la muela está calificada *para trabajo solamente en seco*. El calor excesivo se evita mediante reducido arranque de viruta.

Para evitar grietas de tensiones interiores no se debe nunca trabajar al principio en seco y luego de repente establecer el chorro refrigerante.

Prevención de accidentes al esmerilar

1. Reconocer la muela antes de montarla por si tuviera grietas.
2. Comprobar que la muela rueda redondo.
3. Antes de usarla por primera vez someter la muela a funcionamiento de ensayo.
4. No sobrepasar nunca la velocidad periférica admisible.
5. Usar protección contra los ojos.
6. Al afilar en la muela de pedestal, la protección de la muela no debe distar de ésta más que 2 mm, pues en caso contrario pudiera entrar la herramienta entre la protección y la muela y producirse el estallido de ésta.
7. Cuando se trabaja en seco deben aspirarse las virutas.
8. No quitar la coraza protectora.
9. No tocar la muela en marcha.



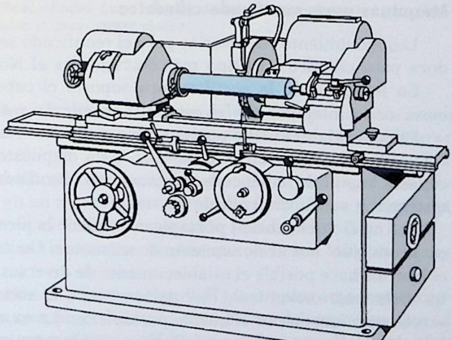


Figura 8.13 Rectificadora cilíndrica.

Rectificado cilíndrico

Mediante el esmerilado puede conferirse a las piezas exactitud de medidas y elevada calidad superficial. Se distingue entre rectificado cilíndrico exterior e interior.

La *exactitud de medidas* puede conseguirse mediante el esmerilado mucho más fácilmente que en el torneado, ya que el espesor de viruta es en el esmerilado muy pequeño, por ejemplo del orden de 0,0025 a 0,03 mm. El mantenimiento de pequeñas tolerancias es muy importante cuando se trata de fabricar piezas o herramientas intercambiables. Una *elevada calidad superficial* disminuye el rozamiento en piezas deslizantes y favorece con ello las condiciones del movimiento y del apoyo; además, aumenta con ello la resistencia por disminución del efecto de entallado.

Rectificado cilíndrico exterior

Mediante esmerilado pueden trabajarse cuerpos de revolución cilíndricos y cónicos. Durante el proceso de esmerilado, tanto la muela como la pieza que se trabaja, realizan determinados movimientos (figura 8.14).

El avance lateral es realizado, según el tipo de las máquinas, unas veces por la pieza (tipo Norton) y otras por la muela (tipo Landis).

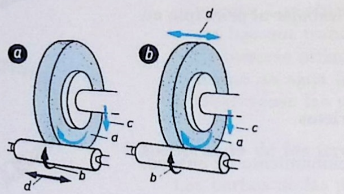


Figura 8.14 Movimientos en el rectificado cilíndrico. *a*) Movimiento principal circunferencial (movimiento de corte) de la muela esmeril; *b*) movimiento de rotación de la pieza; *c*) avance en profundidad para ajustar el espesor de viruta (profundidad de ajuste); *d*) avance lateral; (**a**) avance lateral por medio de la pieza; (**b**) avance lateral por medio de la muela.

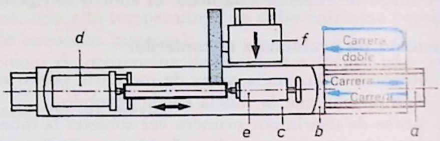


Figura 8.15 Representación simplificada de una máquina para rectificado cilíndrico (tipo Norton). *a*) Bancada; *b*) mesa inferior; *c*) mesa superior; *d*) cabezal portapiezas; *e*) contrapunto; *f*) cabezal del husillo portamuelas.

Máquinas para rectificado cilíndrico

Los movimientos necesarios para el rectificado se realizan por medio de la rectificadora para cilindros. El tipo más corriente es el Norton (figs. 8.13, 8.15).

La bancada de la rectificadora soporta el cabezal del husillo portamuelas y la mesa de la máquina con el cabezal portapiezas y el contrapunto fijos en ella.

El cabezal del husillo portamuelas comunica a la muela el *movimiento principal de rotación* y el avance en profundidad. Está dispuesto de modo desplazable sobre una consola lateral de la bancada. La muela está montada sobre el husillo correspondiente que recibe su movimiento de un motor.

Por medio del **cabezal portapiezas** obtiene la pieza su movimiento de rotación, que es producido por accionamiento de un motor. Un sistema de engranajes dispuesto en el interior hace posible el establecimiento de diversas velocidades de rotación. El punto no suele tener movimiento de rotación y para el arrastre se utiliza un acoplamiento de arrastre accionado por el husillo portapiezas. La muela y la pieza tienen el mismo sentido de giro de modo que en definitiva se enfrentan en sentidos encontrados (véase fig. 8.20, pág. 204).

La mesa de la máquina da lugar al *avance lateral* (movimiento longitudinal). Consta de la mesa inferior y de la superior. Sobre la mesa superior se hallan atornillados el cabezal fijo de la pieza y el cabezal móvil, ambos desplazables por unas guías. La pieza se sujeta entre los puntos de ambos cabezales. La mesa se mueve a un lado y a otro accionada por *engranajes* o *hidráulicamente* (fig. 8.16) y tiene su movimiento longitudinal limitado por topes regulables. Un trayecto de ida *y* vuelta se llama carrera doble y uno de ida *o* vuelta, carrera.

El avance lateral debe disponerse de magnitud mayor o menor, según sea la calidad exigida al esmerilado. Con el mecanismo de engranajes no puede disponerse nada más que de un *número limitado* de avances (velocidades de la mesa). El accionamiento hidráulico permite la regulación de la velocidad de la mesa *sin escalonamiento*, dentro de ciertos límites (fig. 8.16).

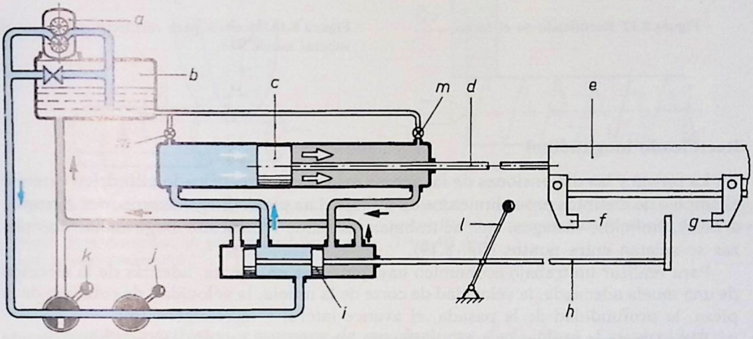


Figura 8.16 Modo de funcionar el accionamiento hidráulico de la mesa (representación simplificada). La bomba de engranajes *a* accionada por un motor, aspira aceite del depósito de aceite *b* y lo impulsa por el lado izquierdo o el derecho del émbolo *c*. El vástago *d* de ese émbolo transmite el movimiento a la mesa *e* de la máquina. La longitud de carrera (longitud de esmerilado) puede ajustarse mediante topes *f*, *g*. Cuando, por ejemplo, tropieza el tope *f* contra la barra de mando *h*, cierra el émbolo de distribución *i* la entrada al lado izquierdo y abre la del lado derecho. La velocidad de la mesa puede regularse sin escalonamiento mediante estrangulación de la entrada de aceite. Para esto se utiliza la válvula de estrangulación *j*. Mediante la llave de paso *k* puede suprimirse la entrada de aceite al cilindro. La palanca de mano *l* sirve para invertir y para paralizar el movimiento de la mesa; las válvulas *m* para purgar el aire.

El cabezal móvil sirve de apoyo a la pieza. La pínola del contrapunto con su punto es empujada por medio de un resorte contra la pieza, de modo que ésta puede dilatarse libremente cuando se calienta.

Montaje de retorneado. El rectificado de muelas de precisión tiene lugar por medio de un diamante que se coloca en un montaje de retorneado. Este último se sujeta en el cabezal móvil o en la mesa, o en el cabezal del husillo portamuelas (fig. 8.18).

Por medio de apoyos intermedios (lunetas) se impide que se flexen las piezas muy largas y delgadas.

El rectificado cilíndrico exterior en el torno (fig. 8.17) se emplea en casos excepcionales. Hace falta para utilizar este procedimiento un aparato de esmerilar que se ajuste en la torreta del torno. Hay que proteger cuidadosamente las guías del torno contra el polvillo de esmeril y contra el refrigerante empleado.

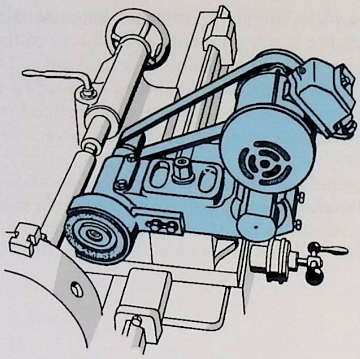


Figura 8.17 Rectificado en el torno.

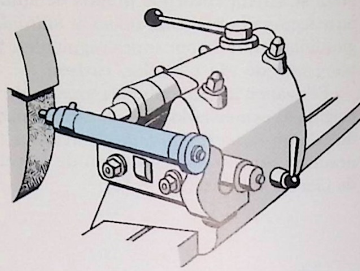


Figura 8.18 Montaje para rectificar muelas en el cabezal móvil.

Rectificado longitudinal

La forma y las dimensiones de las piezas exigen en el rectificado cilíndrico exterior el empleo de distintos procedimientos de trabajo. Las piezas largas, como, por ejemplo, árboles, émbolos, vástagos, etc., se trabajan mediante rectificado *longitudinal*. Las piezas se sujetan entre puntos (fig. 8.19).

Para realizar un trabajo económico hay que tener en cuenta, además de la elección de una muela adecuada, la velocidad de corte de la muela, la velocidad de rotación de la pieza, la profundidad de la pasada, el avance lateral y la refrigeración.

Elección de la muela. Para el rectificado longitudinal se emplean preferentemente muelas planas.

Por regla general, y a pesar de su más rápido desgaste, resultan más económicas las muelas blandas que las duras, porque las primeras se mantienen «afiladas» por sí solas y dan un mayor rendimiento de viruta (selecciónese la muela por la tabla 8.2).

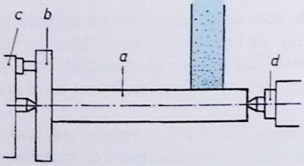


Figura 8.19 Sujeción entre puntos. *a*) Pieza; *b*) acoplamiento de arrastre; *c*) plato de arrastre, *d*) cabezal móvil.

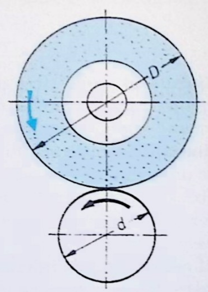


Figura 8.20 Sentido de giro de la muela (*D*) y de la pieza (*d*).

Velocidad de corte y número de revoluciones de la muela. La velocidad de rotación o de corte económica se deduce de tabla 8.4, página 208.

Cuanto mayor es la velocidad de corte, tanto más rápidamente se realiza el trabajo de rectificado; por esta razón no deben rebajarse las velocidades indicadas en la tabla. Pero también hay que evitar las velocidades mayores, porque entonces las muelas se ensucian, se pulen y no agarran; la pieza se recalienta y el esmerilado resulta poco presentable, existiendo además peligro de accidente.

El número de revoluciones puede calcularse (véase pág. 200) o tomarse de una tabla.

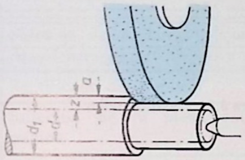


Figura 8.21 Profundidad de la pasada en el rectificado. d_1) Medida original; *d*) medida de ajuste; *z*) exceso para esmerilar; *a*) profundidad de la pasada (dibujo exagerado).

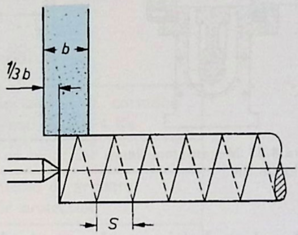


Figura 8.22 Avance lateral. *b*) anchura de la muela; *s*) avance lateral en mm por cada revolución de la pieza (1/4 a 4/5 de *b*).

Velocidad periférica y número de revoluciones de la pieza. La velocidad periférica se da en m/min. Esta velocidad influye sobre la calidad del esmerilado; si es pequeña, el esmerilado resulta fino, y si es grande, resulta basto (tabla 8.5, pág. 208).

Cálculo del número de revoluciones
v_w = velocidad periférica de la pieza en m/min.
d = diámetro de la pieza en mm.
n_w = número de revoluciones de la pieza por min.

Número de revoluciones de la pieza $$n_w = \frac{v_w \cdot 1000}{\pi \cdot d}$$

Ejemplo: Hay que rectificar un árbol de acero St 50 de diámetro igual a 50 mm. Se desea calcular n_w.

Solución v_w = 15 m/min, según la tabla 8.5.

$$n_w = \frac{v_w \cdot 1000}{\pi \cdot d} = \frac{15 \text{ m/min} \cdot 1000}{3{,}14 \cdot 20 \text{ mm}} \approx 239 \text{ rev/min.}$$

Penetración o profundidad de la pasada

En el desbastado: 0,01 a 0,3 mm.
En el afinado: 0,0025 a 0,005 mm.
Para el avance lateral, véase la fig. 8.22 y la tabla 8.6 (pág. 208).

RECTIFICADO DE ÁRBOLES

Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado: Terminar de mecanizar, por rectificado de las partes pretorneadas que han de ir ajustadas, un eje para rueda helicoidal (fig. 8.24) (véase mecanismo de tornillo sin fin en pág. 252).

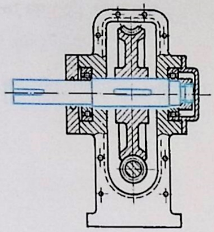


Figura 8.23 Mecanismo de tornillo sin fin.

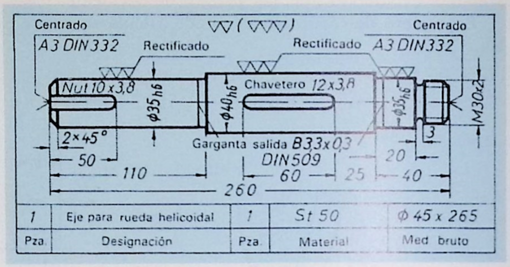
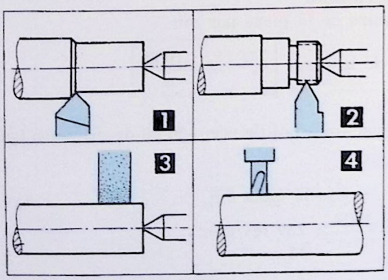


Figura 8.24 Plano de taller.

Plan de trabajo para el mecanizado total del árbol

	Fases del trabajo	Máquina-herramienta
1	Torneado	Torno
2	Tallado de la rosca	Torno
3	Rectificado	Máquina de rectificado cilíndrico
4	Fresado de ranuras	Máquina fresar



Rectificado del árbol

Para el trabajo de rectificado se presta bien una muela de las siguientes características (véase tabla 8.2, pág. 196), recta 200 × 30, de corindón normal, grano 60, dureza M, estructura 4, aglutinante cerámico.

Antes de empezar el trabajo ha de ser comprobado el árbol en cuanto a que gire redondo y en cuanto a corrección de medidas.

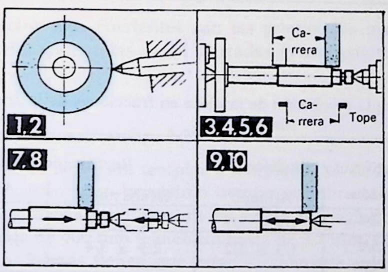
Para la sujeción entre puntos se utilizan vainas de protección y acoplamiento de arrastre. Los agujeros de centrado se llenan con algún medio lubricante (aceite viscoso o sebo).

En el sobrerrecorrido la muela no debe sobrepasar la pieza nada más que en 1/3 de su anchura, pues si no fuera así y saliera completamente, los extremos de ésta resultarían más delgados como consecuencia del aumento de la presión de esmerilado.

La muela y la pieza deben girar con el número preciso de revoluciones. La longitud de la carrera se fija mediante topes. Para el avance lateral se escoge el de unos 12 mm por revolución de la pieza y para la profundidad de corte unos 0,02 mm. Cuando el esmerilado es de afino, tanto el avance como la profundidad son menores. Una vez que la

Plan de trabajo para el rectificado del árbol

1	Sujeción de la muela y ajuste del número de revoluciones	Muela de 200 × 30, corindón normal, 60 M, 4 Ke
2	Rectificado de la muela	Aparato de rectificar muelas
3	Sujeción de la pieza entre puntos	Acoplamiento de arrastre Vainas de protección
4	Ajuste del número de revoluciones de la pieza	–
5	Verificación de si la máquina tiene giro redondo	–
6	Ajuste del avance y de la longitud de carrera	–
7	Desbastado a los diámetros 40 h6, 35 h5	–
8	Afinado a los diámetros 40 h6, 35 h5	–
9	Vuelta a la pieza	–
10	Desbastado y afinado al diámetro 35 h5	–
Instrumentos de medición y verificación: calibre de profundidades, pálmer, calibre de herradura.		



muela ha hecho el recorrido completo con el último ajuste de profundidad, se la hace pasar nuevamente sobre la pieza sin nuevo ajuste, hasta que no salgan más chispas con lo cual se mejora la superficie. Para el esmerilado de redondeamientos ha de estar la muela convenientemente redondeada. Antes de empezar el rectificado hay que establecer el chorro de líquido refrigerante.

Medición y verificación del árbol

Las medidas de ajuste ∅ 40 h6 y ∅ 35 h5 se verifican con calibres adecuados. Es fundamental hacer las verificaciones con la máquina parada.

Para verificar la naturaleza de la calidad superficial es costumbre comparar la superficie rectificada con una muestra normalizada. Existen, además, aparatos especiales para verificación de superficies.

Tabla 8.4 Valores normativos para la velocidad periférica (velocidad de corte) de la muela (m/s) (Extracto de DIN 69103)

Tipo de rectificado	Material: Acero	Fund. de hierro	Metal duro	Aleac. de Zn, metal ligero
Exterior	30 m/s	25 m/s	8 m/s	35 m/s
Interior	25 m/s	25 m/s	8 m/s	20 m/s
Plano	25 m/s	20 m/s	8 m/s	25 m/s

Tabla 8.5. Valores normativos para la velocidad de la pieza durante el rectificado (m/min)

Tipo de rectificado	Material: Acero dulce	Acero templado	Fund. de hierro	Metal ligero
Exterior				
Previo	12 a 18 m/min	14 a 18 m/min	12 a 15 m/min	25 a 40 m/min
De acabado	10 a 15 m/min	10 a 12 m/min	10 a 12 m/min	20 a 30 m/min
Interior	18 a 20 m/min	20 a 24 m/min	20 a 24 m/min	28 a 32 m/min
Plano	8 a 14 m/min			

Tabla 8.6. Avance lateral por cada revolución de la pieza en fracciones de la anchura de la rueda

Material	Rectificado cilíndrico		Rectificado interior	
	Desbastado	Afinado	Desbastado	Afinado
Acero	2/3 a 3/4	1/4 a 1/3	1/2 a 3/4	1/5 a 1/4
Fundición gris	3/4 a 5/8	1/3 a 1/2	2/3 a 3/4	1/4 a 1/3



Distintos procedimientos de rectificado cilíndrico. Tronzado por abrasión

Rectificado penetrante y de forma (fig. 8.25)

Las zonas cortas se mecanizan por rectificado penetrante. Se trabaja entonces accionando sobre el avance en profundidad.

En el rectificado de forma, la muela debe tener el perfil de la pieza acabada. El perfil de la muela se consigue mediante un montaje especial de torneado.

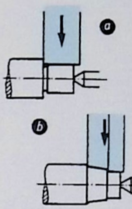


Figura 8.25 Rectificado penetrante y de forma. *a*) Rectificado penetrante; *b*) rectificado de forma.

Rectificado cónico (fig. 8.26)

Para rectificar conos delgados se gira la mesa superior un valor igual a la mitad del ángulo de conicidad.

Los conos cortos pueden lograrse, según sea el tipo de la máquina de que se dispone, o bien por desplazamiento del cabezal del husillo portapiezas o por desplazamiento del cabezal de la muela.

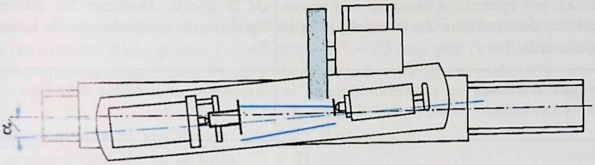


Figura 8.26 Rectificado cónico con desplazamiento de la mesa superior.

Rectificado sin puntos (fig. 8.27)

Este procedimiento se emplea en la fabricación en serie. Se realiza en la rectificadora sin puntos y la pieza no necesita estar centrada. Se halla dispuesta sobre una guía entre dos muelas y es esmerilada por la muela mayor. La muela pequeña es la muela de avance; rueda con velocidad periférica menor que la muela grande y frena el movimiento de rotación que esta última transmite a la pieza, reduciéndola al número de revoluciones que se desean. Con la muela de avance colocada en posición inclinada se empuja la pieza contra la muela grande.

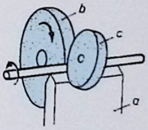


Figura 8.27 Esmerilado sin puntas; *a*) Guía; *b*) muela; *c*) muela de avance.

Defectos en el rectificado

Los defectos más corrientes son las grietas, las manchas por calentamiento, las marcas de vibración y las rayas cruzadas (véase página siguiente).

Tronzado por abrasión (fig. 8.28)

Las piezas de acero sin templar o templado, las de fundición gris, latón, aluminio, etc., pueden cortarse en brevísimo tiempo por abrasión. Los discos empleados para ello son de corindón o de carburo de silicio con aglutinante de baquelita. Tienen un diámetro hasta de 400 mm y anchura hasta de 3,2 mm. La velocidad periférica es de 75 a 80 m/s. Las piezas tienen que estar fuertemente sujetas.

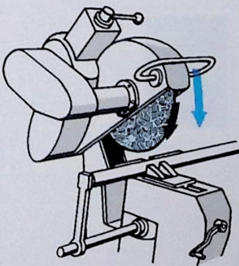


Figura 8.28 Tronzado por abrasión.

<table>
<tr><th>Defectos de rectificado</th><th>Remedio</th></tr>
<tr><td>Las grietas de rectificado se presentan por recalentamiento local. En virtud de la diferencia de temperatura entre la superficie de la pieza y su núcleo se producen tensiones que conducen a la formación de grietas. Las piezas con grietas de rectificado no son utilizables, ya que con el uso se quiebran.</td><td rowspan="2">Evitar el desarrollo excesivo de calor por ejemplo mediante una adecuada velocidad de corte o con ayuda de muelas afiladas (no embotadas) o con refrigeración suficiente.</td></tr>
<tr><td>Las manchas de calentamiento se señalan frecuentemente por coloridos característicos. Las piezas templadas pueden perder con ello el temple.</td></tr>
<tr><td>Las rayas de vibración pueden producirse por sacudidas, por ejemplo, a causa de mal apoyo del husillo, desequilibrio de la muela o sujeción deficiente.</td><td>Ajuste de los cojinetes, equilibrado de la muela, verificar los puntos y agujeros de centrado, uso de lunetas.</td></tr>
<tr><td>Las rayas cruzadas se producen cuando la muela es demasiado basta.</td><td>Empléese una muela más fina.</td></tr>
</table>

Cálculo del tiempo útil principal en el rectificado cilíndrico (figura 8.29)

L_1 = longitud de la pieza en mm;
L = longitud a esmerilar en mm;
s = avance en mm por revolución de la pieza;
n_w = número de revoluciones de la pieza por minuto;
i = número de pasadas.
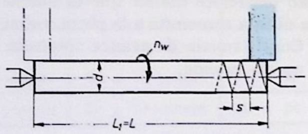


Figura 8.29 Tiempo principal en el rectificado cilíndrico.

El tiempo útil principal se deduce multiplicando la longitud a esmerilar por el número de pasadas (camino o recorrido total) y dividiendo el resultado por el avance realizado cada minuto. Avance por minuto = avance por revolución de la pieza · número de revoluciones por minuto.

Tiempo útil principal cuando el avance en profundidad se regula a cada carrera.

$$t_{hu} = \frac{L \cdot i}{s \cdot n_w}$$

Tiempo útil principal cuando el avance en profundidad se regula a cada doble carrera.

$$t_{hu} = \frac{2 \cdot L \cdot i}{s \cdot n_w}$$

Ejemplo: Se quiere rectificar un árbol de St 42, Ø 40 y 400 mm de longitud. El árbol nos es suministrado con un diámetro igual a 40,3. Se quiere calcular el tiempo útil principal. Datos: Muela de 40 mm de anchura, avance en profundidad cada doble carrera igual a 0,01 mm (el retroceso sin actuación del avance).

Solución: 1. *Número de revoluciones de la pieza.* La velocidad periférica es, según la tabla 8.5, igual a 12 m/min.

$$n_w = \frac{v_w \cdot 1000}{\pi \cdot d} = \frac{12 \text{ m/min} \cdot 1000}{3{,}14 \cdot 40 \text{ mm}} \approx 95 \text{ rev/min.}$$

2. *Avance.* De acuerdo con la tabla 8.6, se elige igual a 1/2 de la anchura de la muela por cada revolución de la pieza. $s = 40 \text{ mm} \cdot 0{,}5 = 20$ mm por revolución de la pieza.

3. *Número de pasadas.* Exceso para el rectificado referido al radio $0{,}3 : 2 = 0{,}15$ milímetros.

$$i = \frac{\text{exceso para el rectificado}}{\text{profundidad de la pasada}} = \frac{0{,}15 \text{ mm}}{0{,}01 \text{ mm}} = 15$$

4. *Tiempo útil principal:*

$$t_{hu} = \frac{2 \cdot L \cdot i}{s \cdot n_w} = \frac{2 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 15}{20 \text{ mm} \cdot 95 \text{ rev/min.}} \approx 6{,}31 \text{ minutos.}$$

Rectificado cilíndrico interior

Mediante el *rectificado interior* pueden acabarse orificios cilíndricos y cónicos. Según sea la forma de la pieza pueden distinguirse dos tipos de rectificado.

1. Rectificado de piezas que *pueden girar*, por ejemplo, casquillos, anillos.
2. Rectificado de piezas que *no pueden girar*, por ejemplo, cilindros de automóvil, cabezas de biela.

Máquinas para rectificado interior

Las piezas que pueden *girar* durante el rectificado, se trabajan en rectificadoras de interiores.

Lo mismo que en el rectificado cilíndrico exterior se necesitan también en el trabajo de rectificado interior cuatro movimientos (figura 8.30).

La rectificadora de interiores (fig. 8.31) es de constitución semejante a la que se emplea para el rectificado exterior.

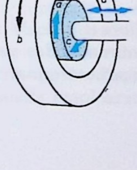


Figura 8.30 Movimientos en el rectificado interior. *a*) Movimiento de corte de la muela; *b*) movimiento de rotación de la pieza; *c*) movimiento de ajuste del avance en profundidad de la muela; *d*) avance lateral mediante movimiento longitudinal de la pieza o de la muela.

En **el cabezal del husillo portamuelas** va dispuesto el husillo que soporta al aire la muela correspondiente. La muela recibe de un motor su *movimiento principal rotatorio* a través de correas planas o trapezoidales. (Las ruedas dentadas impiden la marcha suave.) Como las muelas tienen un diámetro pequeño se necesita imprimirles un elevado número de revoluciones. Para el trabajo de taladros grandes o pequeños, largos o cortos, pueden montarse husillos de diferentes gruesos y longitudes.

El cabezal del husillo portapiezas tiene un plato de garras giratorio para sujeción de las piezas. El movimiento lo proporciona un motor. Mediante sistemas de engranajes puede disponerse de diversos números de revoluciones.

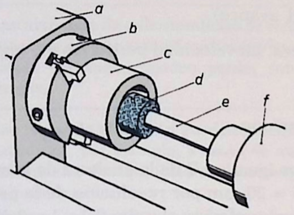


Figura 8.31 Rectificadora de interiores. *a*) Cabezal del husillo portapiezas; *b*) plato de sujeción; *c*) pieza; *d*) muela; *e*) husillo portamuelas; *f*) cabezal del husillo portamuelas.

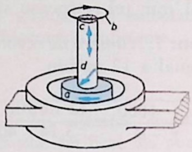


Figura 8.32 Movimientos de la rectificadora planetaria. *a*) Movimiento de corte de la muela; *b*) movimiento planetario del husillo de la muela; *c*) avance lateral del husillo de la muela; *d*) avance en profundidad del husillo.

La mesa de la máquina soporta el cabezal del husillo portamuelas y efectúa el *avance lateral*.

En las máquinas pequeñas el *avance lateral* se realiza por desplazamiento del cabezal del husillo portapiezas y en las grandes por la traslación del cabezal del husillo portamuelas.

El *avance en profundidad* lo realiza el cabezal del husillo portamuelas.

La **rectificadora universal** se presta para el rectificado interior y para el exterior.

Sujeción de las piezas. Las piezas de paredes gruesas se sujetan en el plato de garras y las de paredes delgadas se disponen en montajes de sujeción.

Elección de la muela. Habrá que escoger una muela blanda porque la superficie de contacto entre la muela y la pieza es grande.

Rectificadora de interiores con husillo planetario (fig. 8.32). Se emplea esta disposición para esmerilar piezas *que no pueden girar*.

La pieza se sujeta en un carro-soporte de movimientos en cruz y mediante acción de un husillo longitudinal y otro transversal se ajusta con respecto al husillo de la muela. En virtud de su especial construcción, el husillo de la muela puede realizar los siguientes movimientos: movimiento de corte de la muela, avance lateral, avance en profundidad y además un movimiento en círculo (movimiento planetario) en el interior del agujero que se rectifica.

RECTIFICADO DE AGUJEROS

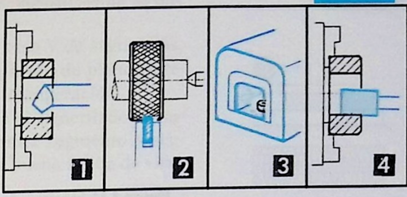
Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado: Rectificar un anillo de calibre (fig. 8.33) interiormente y en sus caras frontales. Se suministra templado y con sobremedidas para el esmerilado.

El rectificado es, generalmente, el único medio para terminar a su medida final piezas templadas.

Plan de trabajo para el mecanizado total

	Fases del trabajo	Máquinas y herramientas
1	Torneado y taladrado	Torno
2	Moleteado en x	Torno
3	Templado	Horno de templar
4	Rectificado	Rectificadora de interiores



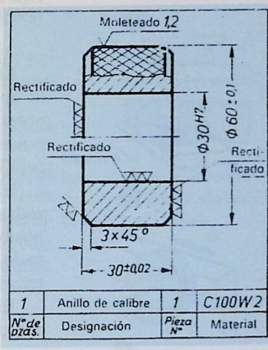
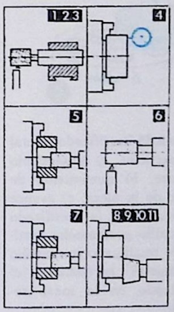


Figura 8.33 Plano de taller.

Plan de trabajo para el rectificado

1	Colocación del husillo de la muela para rectificado interior	Husillo de muela para rectificado interior
2	Sujeción de la muela	Muela Ø 24, anchura 15. Corindón 60 K 4 Ke
3	Rectificado de la muela	Diamante para rectificar
4	Sujeción de la pieza y nivelación de la misma	Plato de tres garras comparador
5	Esmerilado previo del taladro a Ø 29,85	–
6	Repaso para afinado de la muela	Diamante de rectificar
7	Afinado del taladro a Ø 30 H7	–
8	Quitar la muela plana y poner una de vaso	Muela de vaso EK 36 Jot 5 Ke
9	Rectificado plano de la cara frontal 1.ª	–
10	Se da vuelta a la pieza	–
11	Rectificado plano de la cara frontal 2.ª	–
Instrumentos de medida y verificación: pálmer, calibre macho de tolerancias, comparador		



Rectificado del anillo de calibre

Hay que escoger un husillo para la muela de rectificado interior tan corto y grueso como sea posible. La pieza, templada como está y además con gran superficie de contacto con la muela, exige que ésta sea blanda. Para una velocidad de corte de 20 m/s se necesitarán 15 300 rev/min en la muela. Durante el esmerilado no deberá salir la muela del agujero, sino en 1/3 aproximadamente de la anchura. Si sale del todo, el taladro resaltará con más diámetro en los extremos. En el esmerilado plano no hace falta que la muela de vaso sea tan pequeña. Para ahorrarse uno la nivelación a la hora de rectificar la 2.ª cara frontal, puede emplearse un plato de sujeción magnético.

Rectificado plano

Mediante esta operación se consiguen superficies planas en las piezas. Puede tratarse de rectificado basto o de desbaste, o de rectificado de afinado (fig. 8.34).

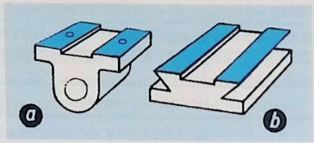


Figura 8.34 Ejemplos de rectificado plano. *a*) Rectificado basto de una superficie de apoyo; *b*) afinado por rectificado de una superficie de deslizamiento.

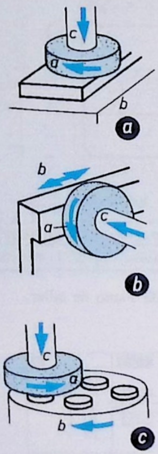


Figura 8.35 Rectificado frontal de superficies. *a*) Movimiento de corte; *b*) movimiento de avance de la pieza; *c*) avance en profundidad; (**a**) rectificado con husillo portamuelas vertical; (**b**) rectificado con husillo portamuelas horizontal; (**c**) rectificado en la mesa redonda.

El rectificado basto o de desbaste sirve frecuentemente para obtener superficies de apoyo en piezas fundidas, prensadas o forjadas. En esa operación no tiene tanta importancia la exactitud de medidas o la calidad superficial como el buen rendimiento del esmerilado. El esmerilado es, en este caso, más barato generalmente que el fresado o el cepillado.

El rectificado de afinado tiene por objeto conseguir, en piezas previamente mecanizadas, una mayor exactitud de medidas o una mejor calidad superficial que la que sería posible obtener por fresado o por cepillado; éste es el caso, por ejemplo, en el terminado de planos de ajuste, de guía o de medida. Mediante el rectificado se hace frecuentemente innecesaria la cara operación del rasqueteado.

En muchos casos se consigue que piezas en estado bruto obtengan por rectificado sus dimensiones exactas y su buena calidad superficial.

Rectificado frontal y rectificado tangencial

Las superficies planas pueden esmerilarse con la cara frontal (esmerilado frontal) o con la periferia de la muela (esmerilado tangencial).

Máquinas de esmerilado plano para rectificado frontal

Hay máquinas con husillo portamuelas vertical y con husillo longitudinal. La mesa de esmerilar puede ser de forma longitudinal o redonda (figura 8.35).

Las máquinas con husillo portamuelas vertical se prestan bien para trabajar piezas cuya superficie de apoyo sea paralela a la superficie que se va a rectificar.

Las máquinas con husillo portamuelas horizontal se emplean cuando la superficie a rectificar tiene una posición normal a la de apoyo.

Las máquinas para rectificado plano se construyen para longitudes de trabajo de hasta 15 000 mm. Las máquinas mayores necesitan para su accionamiento hasta 30 kW.

Las *partes principales* de una máquina con husillo portamuelas vertical son: bancada, mesa longitudinal y montante con carro corredizo para el cabezal.

El **husillo portamuelas** lleva la muela y va fijo con soportes al carro corredizo del cabezal. Un motor da al husillo el *movimiento principal*. Para ajustarlo sobre la pieza, el cabezal puede correrse verticalmente a lo largo del montante de la máquina. Un dispositivo de accionamiento micrométrico da lugar al *avance en profundidad*.

La mesa longitudinal sirve para sujetar a ella la pieza. Corre por las guías de la bancada y se maniobra hidráulicamente a un lado y a otro. Por medio de topes se limita el *movimiento de avance*.

Rectificado frontal. En virtud de la gran superficie de contacto que existe entre la muela y la pieza toman parte en el esmerilado simultáneamente muchos granos abrasivos y por esta razón en el esmerilado frontal se tiene una *gran capacidad productiva de virutas*.

Elección de la muela. Se emplean generalmente muelas de vaso y de segmentos.

La muela de vaso se presta especialmente bien para el rectificado de planos interrumpidos. En superficies anchas y continuas resulta difícil la refrigeración.

La muela de segmentos es más ventajosa que la de vaso para el esmerilado de superficies anchas y continuas, porque los espacios intermedios entre segmento y segmento facilitan una buena afluencia del líquido refrigerante y una buena salida de virutas.

El diámetro de la muela debe ser mayor que la anchura a esmerilar. La gran superficie de contacto exige muelas blandas.

La *velocidad de corte* (de 20 a 25 m/s), la *velocidad de la pieza* (hasta 14 m/min) y el *avance en profundidad* dependen de la anchura y de la clase de superficie a rectificar y además de la calidad superficial exigida (véanse tablas 8.4 y 8.5, pág. 208).

La *posición del husillo de la muela* influye en el aspecto de la superficie rectificada (fig. 8.36).

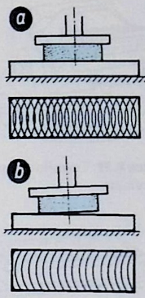


Figura 8.36 Aspectos de la superficie obtenida en el rectificado frontal. **a)** Rectificado en cruz; **b)** Rectificado radial.

Cuando el husillo está exactamente normal a la superficie de sujeción, se da lugar al esmerilado en cruz. La superficie rectificada es fácil que pueda resultar ligeramente abombada. Para evitar este defecto, se puede o bien escoger una muela mayor o bien inclinar el cabezal en algunas milésimas de milímetro. La muela inclinada no trabaja nada más que con un canto, de modo que resulta el esmerilado en forma radiada. Cuando la inclinación es excesiva, la superficie trabajada resulta cóncava.

Máquinas de rectificado plano para rectificado tangencial

Las máquinas se construyen igualmente con mesa redonda o con mesa longitudinal (figuras 8.37 y 8.38).

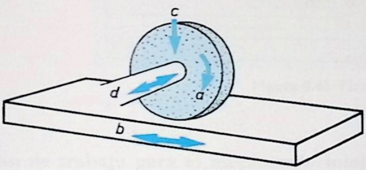


Figura 8.37 Esmerilado plano tangencial con mesa longitudinal. *a*) Movimiento de corte; *b*) movimiento de avance; *c*) avance en profundidad; *d*) avance lateral.

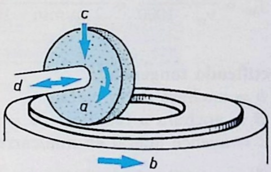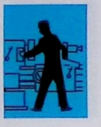


Figura 8.38 Esmerilado plano tangencial con mesa redonda. *a*) Movimiento de corte; *b*) movimiento de avance; *c*) avance en profundidad; *d*) avance lateral.

El **husillo portamuelas** está dispuesto horizontalmente y es accionado por un motor. Es desplazable en altura.

La mesa longitudinal corre sobre la bancada en la que está montado el mecanismo de accionamiento hidráulico del avance. Mediante el avance transversal pueden desplazarse la mesa o la muela normalmente al movimiento longitudinal.

Esmerilado tangencial. La superficie de contacto entre la pieza y la muela es muy pequeña. No se alcanza, por lo tanto, sino una *capacidad productiva de virutas reducida*. Se obtiene en cambio un acabado muy fino. El rectificado tangencial se presta especialmente bien para el acabado de superficies largas y estrechas; por ejemplo, regletas de guía.



La sujeción de las piezas que han de someterse al rectificado plano ha de realizarse cuidadosamente.

Las piezas grandes se sujetan con tornillos y bridas a la mesa. A veces se emplean montajes de sujeción (fig. 8.39).

Cuando la superficie de sujeción está previamente trabajada, se emplean platos magnéticos (fig. 8.40). Estos reducen considerablemente el tiempo empleado en la sujeción. Los platos magnéticos necesitan del paso de una corriente eléctrica, aunque también los hay de imanación permanente que no precisan del paso de corriente eléctrica. Después del rectificado deben desimanarse las piezas de acero o de fundición de hierro que hayan sido sujetadas magnéticamente.

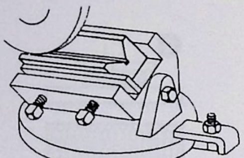


Figura 8.39 Tornillo de sujeción basculante.

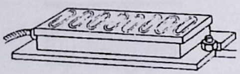


Figura 8.40 Plato magnético sujeción.

Cálculo del tiempo útil principal en el rectificado de superficies

Rectificado frontal.

l = longitud de la pieza.
L = longitud a rectificar ($L = l$ + sobrerrecorrido).
i = número de pasadas.
v = velocidad de la mesa en m/min.

Se supone que el avance en profundidad tiene lugar cada doble carrera.

Tiempo útil principal $\boxed{t_{hu} = \dfrac{2 \cdot L \cdot i}{v \cdot 1000}}$

Ejemplo:

Se trata de rectificar una regleta de 750 milímetros de longitud. El exceso para el esmerilado, que es de 0,6 mm,hay que esmerilarlo en 4 pasadas. Velocidad de la mesa 1 m/min. Calcular el tiempo útil principal.

Solución:

$L = l$ + sobrerrecorrido (sobrerrecorrido = Ø muela).
L = 750 mm + 150 mm = 900 mm.

$$t_{hu} = \frac{2 \cdot L \cdot i}{v_m \cdot 1000} = \frac{2 \cdot 900\ \text{mm} \cdot 4}{2\ \text{m/min} \cdot 1000} = 3{,}6\ \text{min.}$$

Rectificado tangencial.

b = anchura de la pieza.
B = anchura a rectificar ($B = b$).
s = avance lateral en mm/carrera.

Tiempo útil principal sin avance lateral

$$\boxed{t_{hu} = \frac{2 \cdot L \cdot i}{v \cdot 1000}}$$

Tiempo útil principal con avance lateral

$$\boxed{t_{hu} = \frac{2 \cdot L \cdot B \cdot i}{v \cdot 1000 \cdot s}}$$

Ejemplo:

Se trata de rectificar una placa de 190 milímetros de longitud y 150 mm de anchura. El exceso dejado para el rectificado es de 0,4 mm; número de pasadas = 4; anchura de la muela = 20 mm; avance lateral = 6 mm/carrera; velocidad de la mesa = 2 m/min. Calcular el tiempo útil principal.



Solución:

$B = b + 150 \text{ mm}.$

$L = l + 2 \cdot 5 \text{ mm} = 190 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 200 \text{ mm}.$

$$t_{hu} = \frac{2 \cdot L \cdot B \cdot i}{v \cdot 1000 \cdot s} = \frac{2 \cdot 200 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm} \cdot 4}{2 \text{ m/min} \cdot 1000 \cdot 6 \text{ mm}} = 20 \text{ minutos}$$

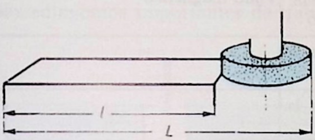


Figura 8.41 Tiempo útil principal en el esmerilado frontal.

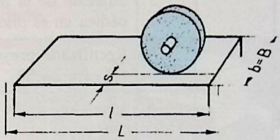


Figura 8.42 Tiempo útil principal en el esmerilado tangencial.

RECTIFICADO DE CARAS PARALELAS

Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado: Rectificado frontal de las cuatro caras de la pieza paralelepipédica de la figura 8.43. La pieza se suministra con los correspondientes excesos para esmerilado.

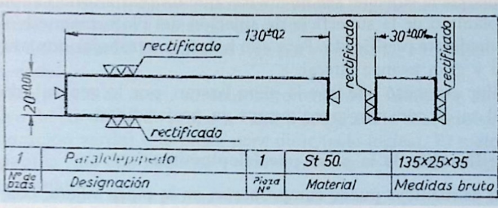
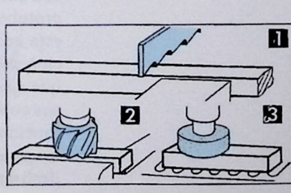


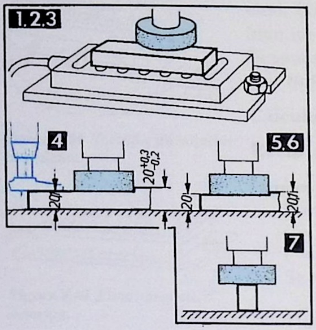
Figura 8.43 Plano de taller.

Plan de trabajo para el mecanizado total

	Fases del trabajo	Máquinas y herramientas
1	Cortar la pieza en bruto	Máquina de aserrar
2	Fresado medida de ajuste 30 ± 0,01 medida para rectificado 30 $^{+0,3}_{+0,2}$ medida de ajuste 20 ± 0,01 medida para rectificado 20 $^{+0,3}_{+0,2}$	Fresadora
3	Rectificado	Máquina para rectificado frontal



Plan de trabajo para el rectificado



1	Sujeción de la muela	Muela de vaso ∅ 60 NK 46 K 4 Ke
2	Rectificado de la muela	Diamante para rectificado
3	Sujeción de la pieza paralelepipédica en el plato magnético	Plato magnético
4	Rectificado previo y final de la 1.ª cara ancha	–
5	Inversión de la sujeción de la pieza	–
6	Rectificado previo y final de la 2.ª cara ancha	–
7	Inversión de la sujeción y rectificado de las caras estrechas	Imán auxiliar a
Instrumentos de medida y calibrado: pálmer y calibre de profundidades, escuadra y regla de filo, comparador.		

Mecanizado de piezas paralelepipédicas

Con objeto de que la sujeción sea buena hay que limpiar a fondo el plato magnético y la pieza. La planitud de la superficie de sujeción del plato magnético se obtiene en caso necesario mediante rectificado. Para ello habrá que trabajar con muy poco avance en profundidad y gran avance lateral.

Para esmerilar el exceso que trae la pieza bastan, por lo general, dos pasadas. El rectificado final se da con muy poco avance en profundidad.

Medición y verificación de la pieza paralelepipédica

La exactitud de medidas puede comprobarse, en la pieza sujeta, con el calibre micrométrico de profundidades y en la pieza rectificada, con el pálmer. Para verificar la perpendicularidad de las caras y la planitud se emplean la escuadra y la regla de filo, respectivamente. El comparador se presta para comprobar el paralelismo de las caras.

ACABADO DE PIEZAS

Los árboles, taladros o superficies planas, aun después de haber sido rectificados, conservan todavía pequeñas irregularidades (figura 8.44). Cuando resbalan estas piezas una sobre otra, se agarran entre sí esas irregularidades y dan lugar a rozamientos. Las protuberancias se desgastan con el frote. Las partículas de material arrancadas por esta acción abrasiva forman con el medio lubricante una pasta que en virtud de su acción de esmerilado favorece la progresión del desgaste. La consecuencia es que piezas que ajustaban al principio correctamente, como, por ejemplo, los árboles y gorrones en sus cojinetes, acaban por tener un juego exagerado que pone en peligro la seguridad del funcionamiento. Si, por ejemplo, se hace que las piezas mecanizadas salgan ya provistas de una elevada calidad superficial desaparece el frotamiento de las superficies que deslizan una sobre otra y con él el desgaste que es su consecuencia. Las piezas tienen

una vida más larga y ofrecen una mejor seguridad de servicio.

Mediante el *acabado* se trata de hacer que las piezas que se fabrican respondan a las más altas exigencias en cuanto a exactitud de dimensiones (calidad ISO 01 a 5) y a calidad superficial (rugosidad menor que 0,5 μm). Estas exigencias se fijan, por ejemplo, en las superficies de deslizamiento de máquinas y en las de medida de los instrumentos de medición (calibres prismáticos, calibres de tolerancias).

El *pulido, bruñido* y el *torneado* y *taladrado de precisión*, constituyen otros tantos procedimientos importantes de trabajo de acabado.

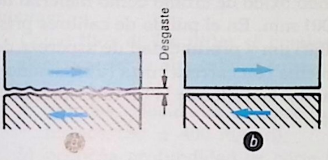


Figura 8.44 Desgaste de las irregularidades por el deslizamiento de superficies. *a*) Irregularidades existentes antes de suavizarlas (dibujo exagerado); *b*) superficie lisa después del suavizado.

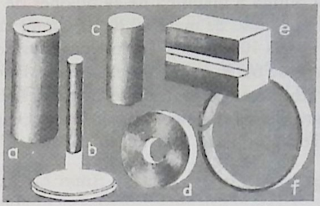


Figura 8.45 Ejemplos de piezas pulidas *a-c*) Piezas redondas (vástagos *a, c*; válvula *b*); *d-f*) piezas planas (cojinete *d*, guía *e*, aro o segmento de pistón *f*).

Pulido

Es un esmerilado fino de piezas redondas o planas (fig. 8.45) realizado por medio de un abrasivo suelto, en polvo (material de pulir).

La elección del material de pulir se rige por el material a trabajar y por la calidad superficial deseada.

Para el pulido previo de acero sin templar o templado, fundición de hierro o bronce se emplea polvo de corindón de grano n.º 280 a 600. Para el acabado se presta el óxido de cromo (coloración verde) o la pasta para pulir (rojo inglés). El material de pulir se convierte en papilla fina con petróleo y aceite. Las superficies de metal duro se pulen con polvo de diamante.

Procedimientos de pulido. Las piezas se mecanizan por lo general previamente por rectificado. El exceso para el pulido es de 0,01 milímetros. El pulido puede hacerse a mano o por medio de máquinas.

Pulido a mano (figs. 8.46 y 8.47). Para pulir un *perno* puede sujetarse éste en el torno. Como útil de pulir se emplea una abrazadera con anillo de pulir recambiable de cobre, metal blanco (para el pulido previo) o fundición gris (para el pulido posterior). El material abrasivo se aplica con un pincel sobre el perno. Para el pulido tiene que girar el perno con una velocidad periférica de unos 20 m/min. El anillo de pulir se mueve a mano de un lado a otro.

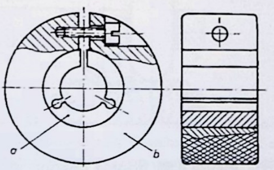


Figura 8.46 Abrazadera para pulir superficies externas redondas. *a*) Anillo de pulir; *b*) mordaza.

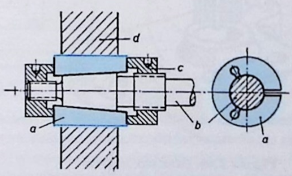


Figura 8.47 Pulido de un taladro. *a*) Anillo de pulir; *b*) espiga; *c*) tuerca de ajuste; *d*) pieza.

El pulido a máquina se emplea en las fabricaciones en serie.

Una cierta cantidad de piezas a pulir, por ejemplo, pernos, se disponen en un montaje y son conducidas entre dos discos planos de pulir. La pasta de pulir se aplica con un pincel o se hace llegar por medio de una bomba. Para pulir se baja el disco superior y por su propio peso o ayudado por una presión exterior, se aplica contra la pieza. Los discos se ponen en movimiento. El montaje realiza además del movimiento de giro un movimiento excéntrico de tal modo que, en el caso de piezas redondas, se establece un movimiento simultáneo de rodadura y de deslizamiento.

El pulido a máquina de 24 bulones de pistón de Ø 24 y 100 mm de longitud dura, para un exceso de material de 0,01 mm, empleando óxido de cromo como material de pulir, unos 10 minutos. La tolerancia es de ± 0,001 mm. En el pulido de calibres prismáticos se obtiene un paralelismo de planos de 0,05 µm y profundidad de aspereza de 0,02 µm. En el pulido vibratorio oscila la herramienta con carrera corta (ultrasonido). Los granos del pulimento por la fuerza centrífuga, son lanzados de la herramienta, inciden sobre la pieza y arrancan partículas de ella.

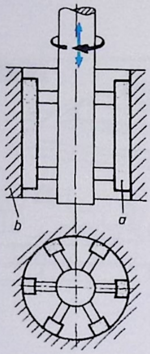


Figura 8.48 Bruñidor de segmentos (esquemático). *a*) piedras de bruñir, *b*) pieza.

Bruñido

En el bruñido se mueve una piedra (cuerpo abrasivo en forma de barra) con movimiento rotatorio y longitudinal con presión leve sobre la superficie previamente trabajada. Con esto se arrancan de la superficie aproximadamente 0,1 mm. Hay bruñido interior y bruñido exterior.

Piedras de bruñir

Elemento abrasivo: Ek, SC, DT grano: superior a 80; aglutinante Ke, Gu, Ba.

Con el *bruñido interior* (carrera longitudinal) se acaban piezas como los cilindros de los motores. La herramienta constituye una especie de escariador de diámetro graduable previsto de segmentos bruñidores (figura 8.48). Este bruñidor se fija en el husillo de una bruñidora (fig. 8.49). Como existe alguna pequeña diferencia se coloca automáticamente en posición coaxial con el taladro por intermedio de un cabezal pendular. La pieza se sujeta sobre la mesa de la máquina. Al bruñir ejecuta el husillo de trabajo con

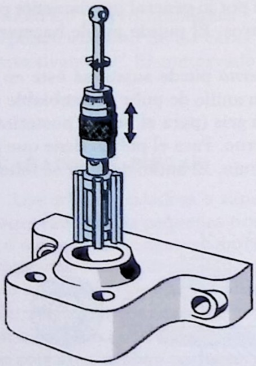


Figura 8.49 Bruñido interior.

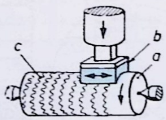


Figura 8.50 Briñido exterior. *a*) Pieza; *b*) piedra de bruñir, *c*) marcas del bruñido.

el útil un *movimiento de rotación* (velocidad periférica de 50 a 70 m/min) y un *movimiento de sube y baja*. Los segmentos bruñidores arrancan de este modo virutas muy finas. Como medio lubricante se emplea el petróleo (80 % de petróleo, 20 % de aceite universal) enviado con chorro fuerte.

El *bruñido exterior* (bruñido de carrera corta) sirve para acabar superficies exteriores (árboles, bulones, etc.). Se realiza en máquinas especiales para bruñido exterior.

Torneado y taladrado de precisión

Mediante el torneado y taladrado de precisión se consiguen piezas listas para el montaje.

Como filos de los útiles se emplean el metal duro o el diamante (véase pág. 22).

Para obtener la alta calidad superficial y exactitud de medidas precisas, son necesarios:

a) grandes velocidades de corte (fundición de hierro, 70 a 120 m/min; metales no férreos, 150 a 400 m/min);

b) pequeña profundidad de corte (0,03 a 0,15 mm);

c) pequeño avance (0,008 a 0,08 mm/rev).

Las grandes velocidades de corte exigen un funcionamiento exento de sacudidas de los tornos o taladros para trabajo de precisión. Por esta razón son de construcción robusta.

Cilindro alisador (bruñido a presión)

Sobre las superficies de las piezas trabajadas previamente se pasa a presión un cilindro alisador que nivela las rugosidades.

Acabado no mecánico

Existen distintos procedimientos, por ejemplo la electroerosión, corrosión química y anodizado, para acabar las piezas por procedimientos no mecánicos.

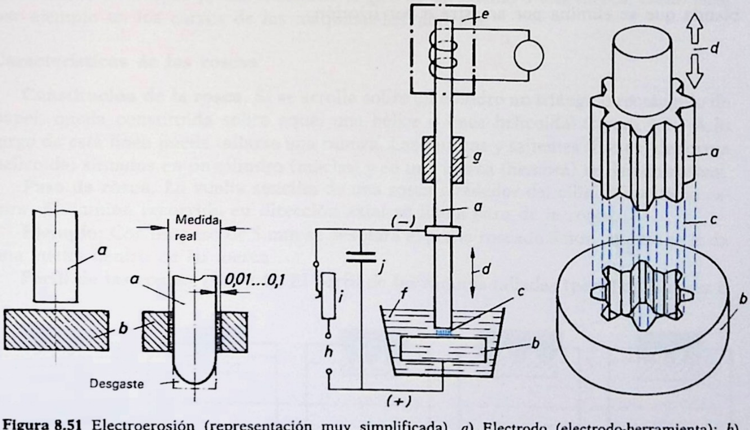


Figura 8.51 Electroerosión (representación muy simplificada). *a*) Electrodo (electrodo-herramienta); *b*) pieza (electrodo-pieza); *c*) salto de chispas; *d*) movimiento oscilatorio del electrodo-herramienta; *e*) cabezal oscilante; *f*) recipiente con líquido dieléctrico; *g*) soporte; *h*) alimentación de corriente; *i*) resistencia; *j*) condensador. El condensador se carga con la energía eléctrica de la alimentación y de la resistencia (por ejemplo procedimiento de circuito oscilante). Con esto sube la tensión entre el electrodo y la pieza, hasta que por el salto de chispas se produce una descarga. La carga y la descarga se realizan intermitentemente.

Electroerosión (erosión por chispas). En este caso se arrancan partículas de material por medio de chispas eléctricas.

Proceso (fig. 8.51). La pieza y el electrodo se hallan en un circuito eléctrico. Del electrodo saltan a la pieza, en descargas que se suceden con gran rapidez, chispas eléctricas. Con esto se produce en los puntos de incidencia a temperaturas que van de los 10 000 a los 25 000°C pequeñas erosiones. El contorno de la erosión corresponde a la forma del electrodo.

Para incrementar la erosión, tanto la pieza como el electrodo están rodeados de un líquido dieléctrico (no conductor de la electricidad). Como líquidos (dieléctricos) sirven el petróleo o el aceite. La erosión se produce no solamente en la pieza sino también en el electrodo. En la pieza, no obstante, es mucho más fuerte porque está conectada como ánodo (+). El material arrancado se arrastra enjuagando con ayuda del líquido. Los electrodos están constituidos por cobre, latón o una aleación de cobre y tungsteno. Hay muchos modos de producir las chispas: por ejemplo, el procedimiento al arco voltaico, el del circuito oscilante y otros.

Las **máquinas para electroerosión** existen en diversos tipos. La mesa para la pieza, que soporta el recipiente con el líquido, es desplazable mediante husillos y volantes de mano. Calibres y lupas de medición hacen posible el ajuste exacto de la pieza. Con carácter completamente general pueden darse los siguientes datos: rendimiento erosivo, de 700 a 1400 mm²/min, desgaste de electrodo el 10 a 15 por ciento de la erosión de material, tolerancia del trabajo 0,01 mm, rugosidad de la superficie acabada 3 µm.

Aplicación del procedimiento. La electroerosión se presta sobre todo para trabajar materiales duros, tales como aceros templados y muy aleados, y el metal duro. Con electrodos adecuadamente conformados pueden conseguirse perfiles en matrices de corte para herramientas cortantes, matrices para extrusión y estirado, moldes, etc. etc. Las máquinas trabajan automáticamente una vez preparadas, el desbastado y el acabado. Cuanto más densas las chispas, tanto más fina resulta la superficie.

Electrolisis. En un circuito de corriente continua entre el ánodo (pieza) y el cátodo (herramienta de cobre o acero) actúa un electrolito. En la pieza se forma una película blanda que se elimina por arrastre o por fricción.

Capítulo 9

Roscado de piezas

Empleo de piezas roscadas

Existen piezas roscadas con rosca exterior (pernos roscados, husillos roscados) y otras en que la rosca es interior (hembra o tuerca). Los pernos roscados y las tuercas se corresponden siempre entre sí. Según el fin o aplicación se distingue entre roscas de fijación y roscas de movimiento (figs. 9.1 y 9.2).

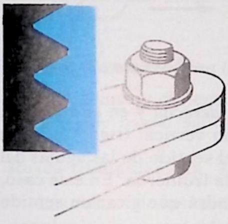


Figura 9.1 Unión de dos bridas con tornillos de fijación.

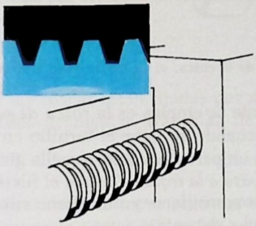


Figura 9.2 Movimiento del carro portaherramientas por medio de un tornillo de movimiento.

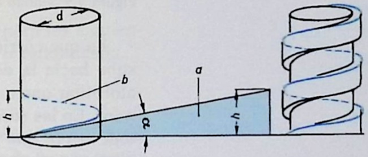


Figura 9.3 Constitución de un tornillo. *a*) Triángulo rectángulo; *b*) hélice; *h*) paso; *d*) diámetro; α) ángulo de pendiente.

Las **roscas de fijación** sirven para unir y fijar piezas. La rosca para unir tuberías tiene que ser estanca (rosca de estanquidad).

Las **roscas de movimiento** tienen por regla general la misión de hacer mover con movimiento de avance piezas mediante el giro de un husillo o una tuerca, como pasa por ejemplo en los carros de las máquinas-herramienta.

Características de las roscas

Constitución de la rosca. Si se arrolla sobre un cilindro un triángulo rectángulo de papel, queda constituida sobre aquél una hélice o línea helicoidal (figura 9.3). A lo largo de esta línea puede tallarse una ranura. Las ranuras y salientes (filetes) de forma helicoidal situados en un cilindro (macho) y en una tuerca (hembra) se llaman roscas.

Paso de rosca. La vuelta sencilla de una rosca alrededor del cilindro se llama espira. El camino recorrido en dirección axial se llama *paso* de la rosca.

Ejemplo: Con un paso de 5 mm se desplaza el perno roscado 5 mm cuando se le da una vuelta dentro de su tuerca.

Perfil de las roscas (fig. 9.4). El perfil de las ranuras talladas (perfil de la rosca o

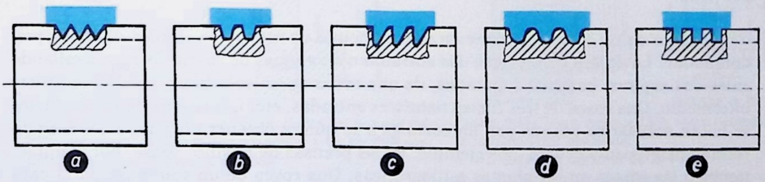


Figura 9.4 Perfiles de roscas. *a*) Rosca aguda o de filete triangular; *b*) rosca trapecial; *c*) rosca de sierra; *d*) rosca de filete redondo; *e*) rosca de filete cuadrado.

del filete) viene determinado por la aplicación que haya de tener la pieza. Los tornillos de fijación tienen filetes triangulares. Para las roscas de movimiento son adecuadas las roscas trapeciales, las de sierra y las de filetes redondos.

El sentido de paso del filete puede ser hacia la derecha o hacia la izquierda, distinguiéndose, de acuerdo con esto, roscas de paso a la derecha y roscas de paso a la izquierda (fig. 9.5).

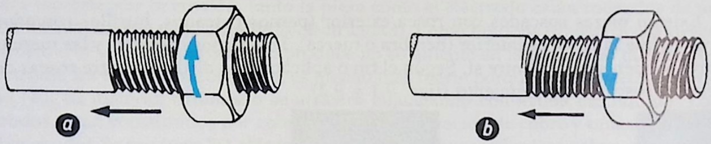


Figura 9.5 Sentido del paso de la rosca. *a*) Rosca de paso a la derecha; *b*) rosca de paso a la izquierda.

La que corrientemente se emplea es la *rosca de paso a la derecha* y en ella el filete sube hacia la derecha cuando se tiene el tornillo en posición vertical (fig. 9.3). Para atornillar una tuerca en un perno roscado, aquélla girará en el sentido de las agujas del reloj. En las *roscas de paso a la izquierda* sube el filete hacia la izquierda. En este caso, una tuerca que haya de atornillarse en un perno roscado tendrá que girar en sentido contrario al de las agujas del reloj.

Según el **número de filetes**, se hablará de roscas de uno o de varios filetes (figura 9.6).

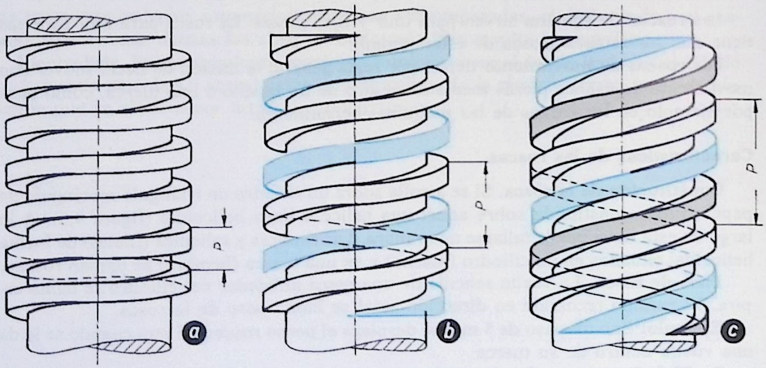


Figura 9.6 Roscas de uno y de varios filetes. *a*) Rosca de un solo filete; *b*) rosca de dos filetes; *c*) rosca de tres filetes.

La rosca de un solo filete tiene *un* solo principio de rosca y se emplea de modo predominante. La de dos filetes tiene *dos* entradas o arranques de rosca. Se forma tallando entre dos espiras, bastante separadas, de una rosca de un solo filete,un segundo filete intermedio. Una rosca de tres filetes tiene tres entradas, etc. Las roscas de varios filetes se hacen necesarias cuando con un corto giro se quiere obtener un gran avance en dirección axial, como ocurre, por ejemplo, en las prensas de husillo; véase, por ejemplo, también las roscas en las plumas estilográficas. Una rosca de un solo paso daría para un avance grande una profundidad de rosca excesiva.

Acción tensora de la rosca. Mediante atornillado pueden presionarse entre sí con fuerza dos piezas.

La magnitud de la fuerza con la que, por ejemplo, se atornilla un perno roscado en una base fija puede calcularse del modo que sigue (fig. 9.7).

Fuerza × recorrido de la fuerza = carga × recorrido de la carga; $F \cdot 2\,r\,\pi = F_1 \cdot P$ (sin rozamiento).

Ejemplo: F = 200 N, r = 150 mm, P = 2,5 mm

Solución: $$F_1 = \frac{F \cdot 2\,r\,\pi}{P} = \frac{200\ \text{N} \cdot 2 \cdot 150\ \text{mm} \cdot 3{,}14}{2{,}5\ \text{mm}} = 75\,360\ \text{N}$$

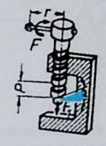


Figura 9.7 Prensa de tornillo. F = fuerza (fuerza normal), 2π = recorrido de la fuerza, F_1 = fuerza tensora (carga), P = paso (recorrido de la carga).

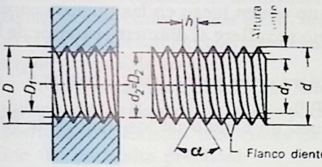
Considerando un 50 % de pérdida por fricción la verdadera fuerza tensora será $F_1 \approx$ 37 680 N.

Roscas normalizadas

Las formas y dimensiones de las roscas están fijadas por normas para los siguientes tipos de rosca: aguda o de filete triangular, trapecial, de sierra o redondeada.

Rosca triangular (fig. 9.8)

Las roscas de los tornillos de fijación han de generar un gran esfuerzo y no aflojarse por sí solas. La rosca triangular responde a estas exigencias y es adecuada, por lo tanto, para los tornillos de fijación.



Características	Tornillo	Tuerca
Diámetro exterior	d	D
Diámetro del núcleo	d_1	D_1
Diámetro de los flancos	d_2	D_2
Ángulo de los flancos	a	a
Paso	h	h

Figura 9.8 Toda rosca triangular queda claramente determinada por las cinco magnitudes características del recuadro.

La sección triangular del filete da lugar a un paso reducido, cosa que es conveniente para la obtención de un gran esfuerzo de apriete. El rozamiento entre los flancos de los dientes exteriores e interiores es relativamente grande y da lugar juntamente con lo reducido del paso a una autorretención eficaz; el peligro de que el enlace entornillado se afloje por sí mismo queda así reducido. La gran sección en la base del filete da a la rosca triangular la necesaria resistencia (fig. 9.9).

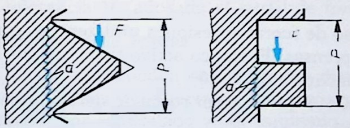


Figura 9.9 Comparación de las secciones en la base del filete entre roscas de sección triangular y de sección cuadrada. F Carga; P paso; a sección.

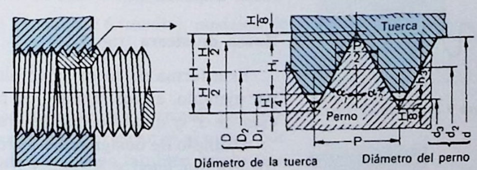


Figura 9.10 Rosca métrica ISO, rosca normal. Se llama rosca normal porque es la normalmente empleada.
$d = D$ diámetro nominal de la rosca
$d_2 = D_2$ diámetro de los flancos
D_1, d_3 diámetro del núcleo

El buen ajuste entre la tuerca y el perno no se produce sino cuando se mantienen las dimensiones principales. Están normalizadas las siguientes roscas triangulares: rosca métrica, rosca Whitworth, rosca fina, rosca para tubos y rosca para tubos blindados de acero.

Rosca métrica ISO. Todas las cotas vienen dadas en milímetros. El ángulo de los flancos $\alpha_1 + \alpha_2$ vale 60°. En las roscas de perno la base de la rosca es redondeada para evitar el efecto de entalladura. La rosca métrica ISO está internacionalmente adoptada y substituye a la rosca métrica. Se distingue entre rosca normal y rosca fina. En la rosca normal a cada diámetro exterior le corresponde un paso determinado.

Ejemplo de designación: M12, es decir, rosca métrica (rosca normal) de 12 mm de diámetro exterior.

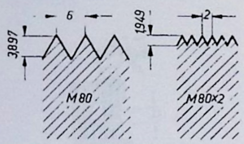


Figura 9.11 Comparación entre una rosca métrica corriente (M 80) y una rosca métrica fina (M 80 × 2).

Rosca Whitworth. El ángulo de los flancos es de 55°. El diámetro exterior viene dado en pulgadas; por ejemplo, 5/8''. El paso se designa mediante el número de hilos (o filetes) por pulgada, por ejemplo 11 hilos por 1 pulgada. En los países que utilizan el sistema métrico decimal no se emplea ya la rosca Whitworth. Conserva su campo de aplicación como rosca de tubería.

Las roscas finas (fig. 9.11) tienen pasos más pequeños y profundidades de rosca menores que las roscas corrientes métricas. En virtud de lo reducido del paso se obtiene una mejor autorretención, cosa interesante en roscas que han de estar expuestas a sacudidas o vibraciones. La pequeña profundidad de rosca es cosa necesaria en piezas de paredes delgadas.

Ejemplo de designación abreviada: M 50 × 2 quiere decir rosca métrica de 50 mm de diámetro y 2 mm de paso.

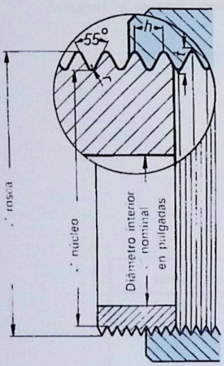


Figura 9.12 Rosca Whitworth para tubos.

La **rosca Whitworth para tubos** (fig. 9.12) se utiliza para roscas de tubos, de armaduras, accesorios y bridas roscadas. Tiene un ángulo de los flancos de 55° y un paso proporcionalmente menor. Las roscas para tubo no tienen juego en las puntas cuando se persigue la estanquidad. El diámetro nominal *no* se refiere al diámetro exterior de la rosca, sino al diámetro interior del tubo.

Ejemplo de designación abreviada: R 1 quiere decir rosca para tubos de 1''; el diámetro de la rosca es en este caso de 33,25 mm.

Las **roscas de tubos blindados de acero** tienen un ángulo de los flancos de 80°.

Rosca trapecial (fig. 9.13)

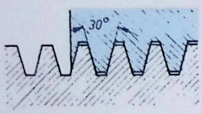


Figura 9.13 Rosca trapecial.

Esta rosca se presta bien para tornillos de movimiento. El ángulo de los flancos es de 30°. El diámetro exterior y el del núcleo dejan juego entre sí. Los flancos han de soportar carga. Están normalizadas roscas de uno y de varios filetes. Las dimensiones de la rosca deben tomarse de la tabla correspondiente.

Ejemplo de designación abreviada: Tr 30 × 6 quiere decir rosca trapecial de diámetro nominal igual a 30 mm y de 6 mm de paso; Tr 40 × 12 (2 filetes) quiere decir rosca trapecial de 40 mm de diámetro nominal, 12 mm de paso y 2 filetes.

Rosca de sierra (fig. 9.14)

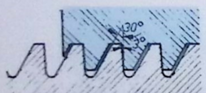


Figura 9.14 Rosca de sierra.

Esta forma de rosca se emplea en el caso de fuertes presiones unilaterales, como, por ejemplo, en los husillos de presión de prensas. El flanco activo tiene una inclinación de 3° y el dorso que no trabaja una inclinación de 30°.

Ejemplo de designación abreviada: S 50 × 8 quiere decir rosca de sierra de diámetro exterior igual a 50 mm y 8 mm de paso.

Rosca redondeada (fig. 9.15)

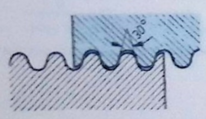


Figura 9.15 Rosca redondeada.

En virtud de su perfil redondeado resulta esta rosca poco sensible a deterioros. Se emplea para husillos de válvula, acoplamientos ferroviarios, roscas de mangueras, etc.

Ejemplo de designación abreviada: Rd 45 × 5 quiere decir rosca redondeada de diámetro exterior igual a 45 mm y paso igual a 5 mm.

La rosca de sección cuadrada no está normalizada.

Roscas defectuosas

No porque dos piezas (macho y hembra) se puedan atornillar entre sí de modo seguido y sin que se bamboleen, se podrá asegurar que ajusten correctamente. Lo que sí es prueba de buen ajuste es que los flancos se adapten bien. Para esto es condición previa la igualdad de los diámetros de los flancos en el perno roscado y en la tuerca. Defectos importantes en las roscas son, por ejemplo, en las de perfil triangular, desigual ángulo de los flancos, perfil oblicuo o asimétrico de la rosca y pasos desiguales (fig. 9.16).

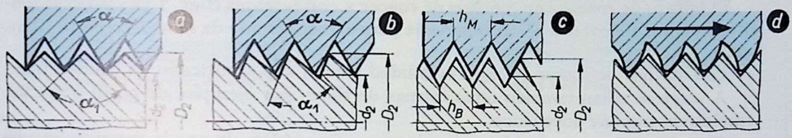


Figura 9.16 Roscas de perfil triangular defectuosas. *a*) Ángulo de los flancos desigual; α, ángulo de los flancos en la tuerca; α_1, ángulo de los flancos en el tornillo. *b*) Perfil asimétrico de la rosca; α, ángulo de los flancos de la tuerca; α_1, ángulo de los flancos en el tornillo. *c*) Paso desigual; P_M, paso de la tuerca; P_B paso del tornillo. *d*) Deformación de los filetes de la tuerca para ángulo de los flancos demasiado grande en el tornillo.

Tolerancia de roscas

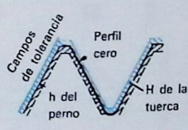
Las piezas roscadas de la misma magnitud tienen que ser intercambiables. Como todas las demás cotas de una pieza, las medidas teóricas de una rosca no pueden mantenerse en la fabricación con toda exactitud. La intercambiabilidad se obtiene mediante las tolerancias de roscas.

En las roscas métricas ISO se han fijado tolerancias para los diámetros exterior, del núcleo y de los flancos, así como para la posición de la tolerancia respecto al perfil cero (perfil ideal). Existen tres clases de tolerancia (grados de calidad):
fino (f): para alta precisión
medio (m): para fines de carácter general
basto (g)*: para casos en que no se exigen condiciones especiales

La magnitud de la tolerancia se designa mediante cifras (desde 3 hasta 9); por ejemplo, fino (f) 3,4 y 5; medio (m) 6; basto (g) 7, 8 y 9.

El lugar del campo de tolerancia se designa con letras: letras minúsculas para roscas de pernos o tornillos: h, g, e; letras mayúsculas para roscas de tuercas: H, G.

Ejemplo: Posición de tolerancia H/h



Ejemplo: Posición de tolerancia H/h

Ejemplo: M 12 – 6 H, es decir rosca de tuerca M 12, calibre 6 (media), posición de la tolerancia H (adosada al perfil de fondo).

Mecanizado de roscas

Las roscas pueden obtenerse por distintos procedimientos; por ejemplo, con machos de roscar y con terrajas a mano o a máquina; con útiles de roscar en el torno, por fresado, por esmerilado y por laminado. Con frecuencia se hacen también roscas por prensado y por colada (por ejemplo, por fundición inyectada).

La elección del procedimiento de fabricación se rige por el número de piezas, por la exactitud y calidad superficial exigidas y por la economía.

* *N. del T.:* La «g» hace referencia a la palabra alemana «gross» = basto, tosco.

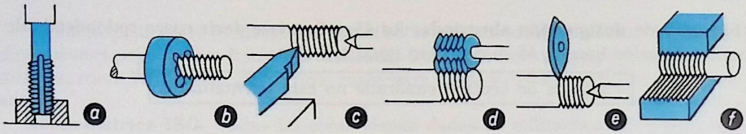


Figura 9.17 Diversos procedimientos para la ejecución de roscas (ejemplos). *a*) Tallado de roscas con machos de roscar; *b*) tallado de roscas con terrajas; *c*) tallado de roscas con cuchillas de roscar; *d*) fresado de roscas; *e*) esmerilado de roscas; *f*) laminado de roscas (procedimiento de conformado).

Mecanizado de piezas roscadas en el torno

Para roscar en el torno se emplean machos de roscar, terrajas o cuchillas de roscar. Generalmente se ejecuta el roscado en combinación con otros trabajos de torno.

El tallado de roscas con machos de roscar y con terrajas (figs. 9.18 y 9.19) es sencillo y barato. Se emplea preferentemente para el mecanizado de roscas de perfil triangular.

Con machos de roscar se logra la calidad media; con rectificado, la calidad fina.

A veces se tallan también otras formas de filete, por ejemplo, de perfil trapecial, empleando machos adecuados.

El movimiento principal lo realiza la pieza. Con objeto de que la rosca no resulte oblicua, se conducen el macho de roscar o la terraja con la pínola del cabezal móvil.

El macho de roscar se atornilla en el agujero del núcleo previamente taladrado y va tallando los filetes de rosca.

La terraja corta los filetes atornillándose en el perno previamente mecanizado. Pueden hacerse con una sola pasada roscas hasta M 16.

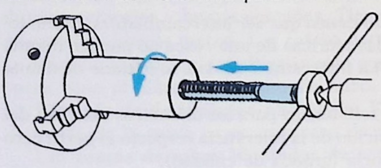


Figura 9.18 Roscado interior realizado con el macho de roscar.

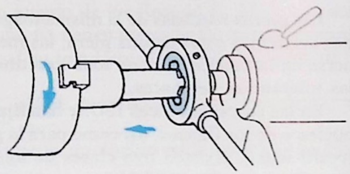


Figura 9.19 Roscado exterior realizado con la terraja de roscar.

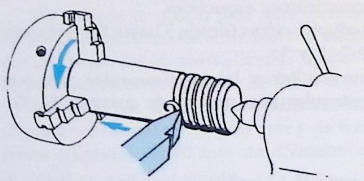


Figura 9.20 Roscado exterior realizado con una cuchilla de roscar.

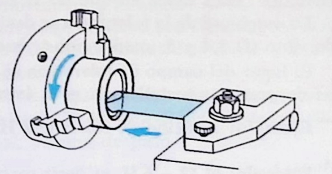


Figura 9.21 Roscado interior realizado con la cuchilla acodada de roscar.

El roscado con cuchilla de roscar (figs. 9.20 y 9.21) requiere más tiempo que el roscado en que se emplean machos de roscar o terrajas porque el útil de roscar tiene que dar varias pasadas para dejar la rosca completamente mecanizada. Tiene, no obstante, la ventaja de que pueden realizarse por este procedimiento con mayor exactitud roscas de cualquier tamaño y forma como, por ejemplo, roscas de perfil triangular, trapecial, de sierra, etc., etc. Con objeto de que resulte el paso deseado, deberá recibir el útil un avance automático por medio del *husillo de roscar* o por medio de una *plantilla de roscar*.



ROSCADO DE PIEZAS EN EL TORNO POR MEDIO DE MACHOS DE ROSCAR Y DE TERRAJAS

Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado: Mecanizado de un gorrón según figura 9.23.

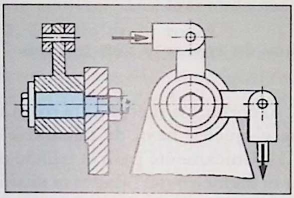


Figura 9.22 Ejemplo de empleo de un gorrón.

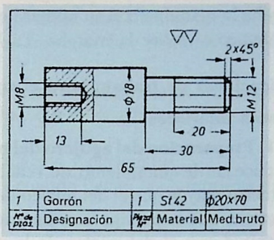
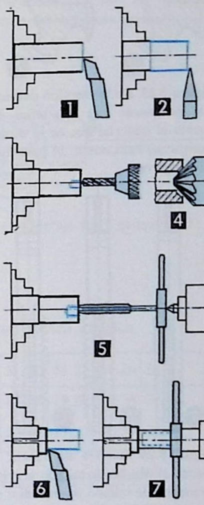


Figura 9.23 Plano de taller.

Plan de trabajo

	Fases del trabajo	Herramientas
1	Sujeción de la pieza y torneado a su longitud	Plato de tres garras; útil de corte lateral
2	Torneados previo y final a ∅ 18	Útil de punta
3	Taladrado del agujero del núcleo a ∅ 6,7	Broca helicoidal 6,75 SS
4	Biselado del agujero del núcleo	Avellanador a 90º
5	Roscado de la rosca interior M 8	Macho de roscar (roscado previo, medio y final; giramachos
6	Vuelta a la pieza; torneado del gorrón y de su bisel	Útil de punta; útil de corte lateral
7	Roscado de la rosca exterior M 12	Cojinete de terraja con volvedor y casquillo
Instrumentos de medida: pie de rey, calibre de profundidades.		



Mecanizado de la rosca interior M 8

Taladrado del agujero del núcleo: El diámetro del núcleo de la rosca es de 6,376 mm. El núcleo debe ser taladrado a 6,7 mm en virtud de las rebabas producidas al roscar (tabla 9.1).

Elección del macho de roscar: Como la rosca ha de ser tallada hasta el mismo fondo del agujero, hacen falta machos de tallado previo, medio y final M 8.

Tallado de la rosca. Con el macho previo se tallan a mano algunos hilos y se pone entonces en funcionamiento la máquina. La pínola se ajusta sobre la marcha, de acuerdo con el avance del macho de roscar. Los siguientes machos se hacen girar algo a mano y para ello se emplea la varilla giramachos. La lubricación debe ser abundante.

Mecanizado de pernos roscados o tornillos M 12

Preparación del perno: La parte roscada del perno se tornea aproximadamente a ∅ 11,85 en previsión del aumento de diámetro por rebabas.

Elección del cojinete de terraja: Es necesario un cojinete M 12.

Tallado de la rosca: Las primeras espiras se tallan a mano, después se pone en marcha la máquina con su número correcto de revoluciones. La pínola se ajusta convenientemente sobre la marcha. La lubricación debe ser abundante.

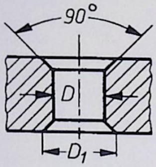


Figura 9.24 Preparación del taladro. *D*) Diámetro del núcleo; D_1) diámetro exterior de la rosca.

Indicaciones de trabajo para el roscado con machos de roscar y con terrajas

Roscas interiores

1. Preparación del agujero del núcleo (fig. (9.24). Al cortar los filetes de la rosca se produce un levantamiento de rebaba. Este exige que el núcleo haya de taladrarse a diámetro mayor que el del núcleo de la rosca (tabla 9.1). Únicamente para el tallado de roscas en que se persiga la estanquidad habrá de tener el diámetro del taladro la misma magnitud que el del núcleo de la rosca.

Cuando el taladro es demasiado pequeño, el macho de roscar tiene que arrancar demasiadas virutas y se quiebra por ello fácilmente aparte que pueden también romperse los filetes de la rosca. Si el taladro es demasiado grande, los filetes de la rosca no quedan tallados; al actuar una carga puede ser arrancada la rosca.

El taladro se avellana con un avellanador de 90° con objeto de que el macho de roscar agarre fácilmente y evitar la formación de rebabas.

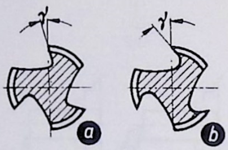


Figura 9.25 En la elección del macho de roscar hay que tener en cuenta el material que se va a mecanizar. *a*) Para acero; *b*) para metales ligeros.

2. Elección del macho de roscar. Para esta elección hay que tener en cuenta el material de la pieza y además la forma y la longitud de la rosca que se va a tallar (figs. 9.25 a 9.28).

Los machos para rosca triangular normal están normalizados y son de acero para herramientas o de acero rápido, con los filetes tallados o esmerilados.

Los machos de roscar. Para tallar roscas en agujeros ciegos y en agujeros pasantes profundos van en juegos de tres. Las roscas de agujeros pasantes normales se hacen frecuentemente con juegos de dos machos o con macho único de acabado.

Los machos de roscar a máquina (fig. 9.27) son en juegos de dos o de macho único de acabado. Para la sujeción en la máquina tienen un mango cilíndrico con un remate corto de cuatro cantos o con extremo aplanado. Hay también machos con mangos especiales.

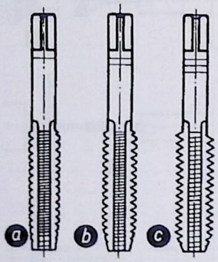


Figura 9.26 Machos de roscar a mano. *a*) Macho de tallado previo; *b*) macho de tallado intermedio; *c*) macho de acabado.

Los machos de roscar tuercas (fig. 9.28) son machos únicos de acabado y sirven para hacer roscas pasantes en las tuercas en una sola operación.

Los machos de roscar a máquina cojinetes de terraja se emplean para el tallado de roscas en las mandíbulas de corte de los mismos.

3. Tallado de la rosca. Los *defectos en el roscado*, como, por ejemplo, filetes oblicuos o flancos ásperos y agrietados, son producidos por mala ejecución del trabajo:

a) Los machos de roscar deben estar bien afilados, pues de lo contrario, se producen flancos ásperos y agrietados.
b) Con objeto de que la rosca no resulte oblicua, la pieza tiene que girar redondo.
c) Los juegos de machos deben emplearse en el orden de sucesión correcto.
d) La lubricación con un medio adecuado disminuye el rozamiento y produce flancos de filete limpios.



Figura 9.27 Machos de roscar a máquina (para ser sujetos en una máquina).

Roscas exteriores

1. Preparación del perno (fig. 9.29). En virtud del levantamiento de material producido por el roscado, se tornea el perno a diámetro más pequeño que el exterior de la rosca, en 1/10 del paso. El bisel hace que la terraja agarre bien.

El diámetro demasiado grande del perno conduce a rotura de los filetes.

2. Elección de la terraja (figs. 9.30 y 9.31). La magnitud de la rosca a cortar está limitada: la rosca métrica hasta los 30 mm. Las roscas a partir de M 16 deben iniciarse con un roscado previo, porque de lo contrario el arranque de viruta sería demasiado grande y se romperían los filetes. Las terrajas están normalizadas. Las hay cerradas y hendidas. Las hendidas pueden dentro de reducidos límites ajustarse mediante tornillos de esparrancar o de expansionar y tornillos de presión. Los filos se forman mediante agujeros dentados de corte: en las superficies frontales hay entradas cónicas.

3. Tallado de la rosca

a) La superficie frontal del cojinete debe estar bien enrasada con la de la terraja o soporte; la pieza debe tener giro redondo; la terraja hay que colocarla recta para que la rosca no salga ladeada o inclinada.

b) Las terrajas embotadas dan lugar a flancos rugosos y agrietados.

c) Las virutas deterioran los flancos de los filetes cuando llenan las lumbreras dispuestas para darles salida.

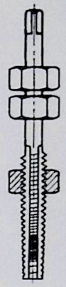


Figura 9.28 Machos de roscar tuercas (para roscas cortas).

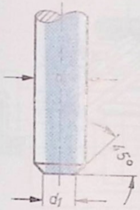


Figura 9.29 Preparación del perno. *d*) Diámetro exterior de la rosca; d_1) diámetro del núcleo de la rosca.

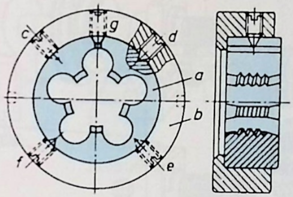


Figura 9.30 Terraja (o cojinete) (*a*) con su casquillo (*b*); *c*, *d*) tornillos de presión; *e*, *f*) tornillos de sujeción; *g*) tornillo de esparrancar o expansionar.

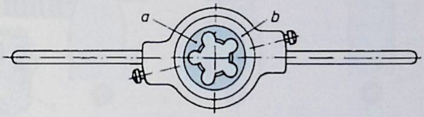


Figura 9.31 Volvedor con terraja (*a*) y casquillo (*b*).

Tabla 9.1. Diámetro de la broca (mm) para agujeros de rosca según DIN 336 (extracto). Rosca métrica

Rosca	M 3	M 3,5	M 4	M 5	M 6	M 8	M 10	M 11	M 14	M 16	M 18	M 20	M 22	M 24	M 27
Taladro para acero	2,5	2,9	3,3	4,2	5	6,7	8,4	10	11,75	13,75	15,25	17,25	19,25	20,75	23,75
Fundición gris, latón	2,4	2,8	3,2	4,1	4,8	6,5	8,2	9.9	11,5	13,5	15	17	19	20,5	23,5

Tabla 9.2 Medios refrigerantes para el tallado de roscas (véase página 46)

Material	Medio lubricante de refrigeración
Acero, normalmente trabajable con arranque de viruta	O 3 c
Acero, difícilmente trabajable con arranque de viruta	O 5 c
Hierro fundido	O 3 c, E 5 a 10 %
Metales no férreos	O 3 b
Metales ligeros	O 3 b

Tabla 9.3 Valores normativos para velocidades de corte en el tallado de roscas en m/min

Material	Herramienta de roscar	
	de acero de herramientas	de acero rápido
Acero de construcción sin alear	5	12
Acero de construcción aleado	–	6
Hierro fundido	5	9
Latón	10	15
Aleación de aluminio	16	25

Tallado de roscas en el torno con cuchilla de roscar

Para el tallado de roscas puede emplearse el *torno copiador de roscas* o el *torno paralelo con husillo de roscar*.

Tallado de roscas en el torno copiador de roscas (figura 9.32)

Los tornos pequeños, como el de mecánico, se construyen muchas veces en el tipo de torno copiador. Para accionar el avance se necesitan *plantillas de roscas* y *estrellas de roscas*. Las plantillas tienen rosca exterior. Para cada rosca que se quiera tallar hará falta su plantilla correspondiente. Las estrellas de roscas llevan diversas escotaduras con filetes de rosca de pasos distintos.

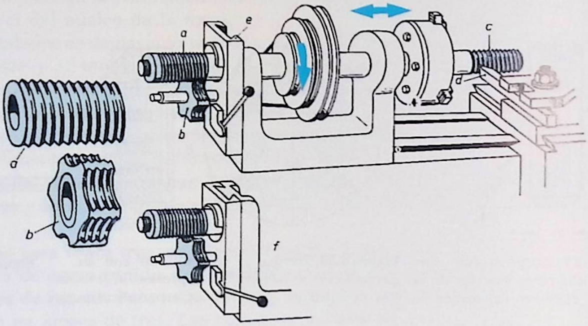


Figura 9.32 Tallado de roscas en el torno copiador con husillo de trabajo movible longitudinalmente. *a)* Plantilla de rosca; *b)* estrella de roscas; *c)* pieza; *d)* útil de roscar; *e)* patín; *f)* estrella de roscas desembragada.

En el torno copiador de roscas el husillo de trabajo es frecuentemente desplazable en dirección longitudinal. Para mecanizar, por ejemplo, una rosca de un milímetro de paso, se fija una plantilla de ese mismo paso en el husillo de trabajo prolongado hacia un lado. La estrella de roscas se atornilla en un patín que puede moverse hacia arriba y hacia abajo en el cabeza. Mediante una palanca, se hace que los filetes de la estrella entren dentro de los correspondientes de la plantilla. Al mismo tiempo se da libertad al movimiento longitudinal del husillo de trabajo. En el tallado de roscas realiza el husillo de trabajo el movimiento de rotación y además un movimiento de avance correspondiente al paso de la rosca de la plantilla, del mismo modo, por ejemplo, a como lo ejecuta un tornillo en una tuerca. La pieza se mueve girando y avanzando frente al útil de tornear que permanece inmóvil, con lo cual se van tallando los filetes de la rosca.

La estrella de roscas y la plantilla permanecen en íntimo contacto, es decir, enroscadas, durante el tallado de la rosca. El husillo de trabajo, mediante movimiento a la derecha o a la izquierda, va hacia adelante o hacia atrás, ajustándose cada vez el útil al espesor de viruta que corresponda. Antes de retroceder debe retirarse el útil. En vez de una cuchilla de roscar se utilizan frecuentemente peines de roscar (véase pág. 234).

En el torno copiador de roscas con husillo movible longitudinalmente se mecanizan con preferencia piezas roscadas que pueden sujetarse voladas en el plato de sujeción.

Para la sujeción entre puntos hace falta un contrapunto, provisto de resorte, cuya pínola retroceda elásticamente con la pieza.

Hay también tornos copiadores de roscas con el dispositivo de roscar suspendido (fig. 9.33). El husillo de trabajo no es entonces desplazable longitudinalmente. Un brazo va provisto del útil de roscar, cuchilla o peine, y la plantilla y la estrella dan lugar al movimiento de este brazo portaútil.

El brazo con el útil de roscar se ajusta en posición mediante basculación. En los tornos revólver es frecuente la existencia de un montaje suspendido para roscar (véase fig. 9.49).

Útiles de roscar

Los útiles de roscar son cuchillas de forma que tienen que coincidir con el perfil de la rosca que se desea (figs. 9.34 a 9.36).

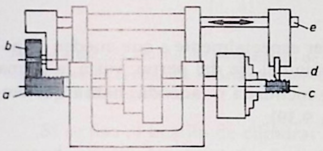


Figura 9.33 Tallado de roscas en un torno copiador de roscas con montaje suspendido para el roscado. *a*) Plantilla de rosca; *b*) estrella de roscas; *c*) pieza; *d*) útil de roscar; *e*) brazo portaútil.

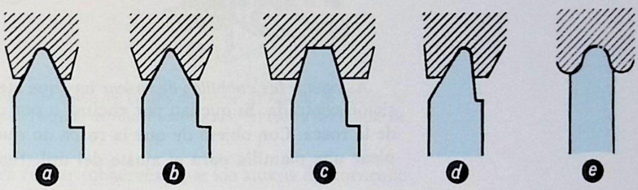


Figura 9.34 Formas de útiles de roscar. *a*) Rosca Whitworth; *b*) rosca métrica; *c*) rosca trapecial; *d*) rosca de sierra; *e*) rosca redondeada.

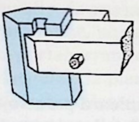


Figura 9.35 Cuchilla para rosca triangular con su soporte.

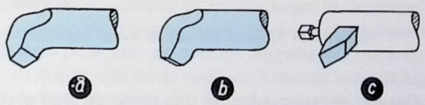


Figura 9.36 Cuchilla para roscas interiores. *a*) Cuchilla para rosca interior de sección triangular; *b*) cuchilla para rosca interior de sección trapecial; *c*) barra portaherramientas con cuchilla de corte.

En el mecanizado de roscas triangulares hay que tener en cuenta que el redondeamiento del fondo de la rosca tiene distinta medida para cada paso de rosca y que, de acuerdo con esto, habrá que redondear de distinto modo la punta de la cuchilla. Para mecanizar roscas exactas hay que emplear útiles de forma para roscar que son generalmente suministrados por las fabricas de herramientas.

Los útiles de roscar no tienen ángulo de ataque para que la rosca no salga deformada (fig. 9.37).

Los peines de roscar (fig. 9.38) tienen la ventaja de que el trabajo de arranque de viruta se reparte entre varios dientes cortantes; con esto se ahorra tiempo en la operación de roscar.

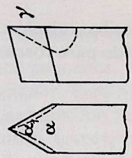


Figura 9.37 Mediante afilado de un ángulo de ataque se obtiene el perfil deformado. α) Perfil correcto de cuchilla, α_1) perfil defectuoso de cuchilla por el ángulo de ataque.

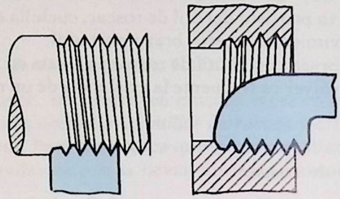


Figura 9.38 Peines de roscar.

Al *sujetar las cuchillas de roscar* hay que atender especialmente a que queden en posición centrada. Si quedan por encima o por debajo del eje del perno, varía la forma de la rosca. Con objeto de que la rosca no quede inclinada o ladeada, habrá que emplear una plantilla para el ajuste del útil (figura 9.39).

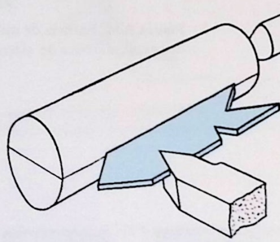


Figura 9.39 Sujeción del útil de roscar haciendo uso de una plantilla.

Cuando se quiera obtener una rosca de gran precisión, se empleará para sujetar el útil un microscopio de torno. Mediante este aparato se dispone el útil según una señal que aparece en el ocular del mismo.

Tallado de roscas en el torno paralelo con husillo de roscar

Modo de funcionar el husillo de roscar y la tuerca del husillo. Para roscar, el útil sujeto en el carro portaherramientas es guiado por el husillo de roscar en dirección longitudinal contra la pieza (fig. 9.40). El husillo de roscar tiene casi siempre rosca trapecial y recibe su movimiento rotatorio del husillo del cabezal. La transformación del movimiento rotatorio en movimiento de avance del carro se realiza por medio de la tuerca que va montada en el carro de bancada. Para poder embragar y desembragar el movi-

miento de avance, la citada tuerca del husillo de roscar está partida y se cierra o se abre accionando una palanca.

El husillo de roscar puede emplearse también para conseguir el avance en el cilindrado. Esto tiene el inconveniente de que, con el uso continuado, se desgasta rápidamente el husillo y se hace inservible para mecanizar roscas exactas.

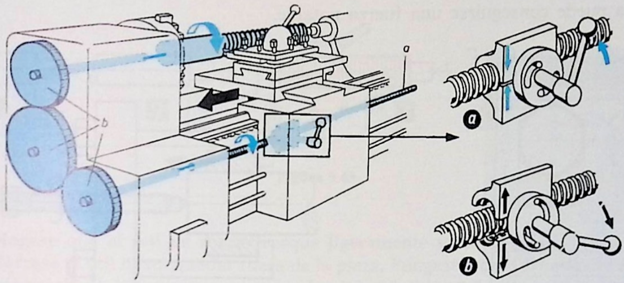


Figura 9.40 Consecución del movimiento de avance por medio del husillo de roscar. *a*) Husillo de roscar; *b*) engranajes del cambio de velocidades; (*a*) tuerca del husillo de roscar embragada; (*b*) tuerca del husillo de roscar desembragada.

Si se usa el husillo de cilindrar para roscar (obsérvese que los surcos del torneado cuando se cilindra tienen forma helicoidal), no resulta exacto el paso porque los engranajes correspondientes en la placa de distribución se inutilizan con frecuencia.

Principio fundamental: *No roscar sino sólo con el husillo de roscar, ni cilindrar ni refrentar sino sólo con el husillo de cilindrar.*

Modo de funcionar los engranajes del cambio de marchas y del avance. Con objeto de obtener un paso de rosca determinado, ha de guardar el número de revoluciones del husillo de roscar cierta relación con el número de revoluciones de la pieza.

Para tallar, por ejemplo, una rosca de paso igual a 6 mm, tendrá que desplazarse el carro portaherramientas una longitud de 6 mm en sentido longitudinal durante *una revolución* de la pieza. Un husillo de roscar que tenga también 6 mm de paso da lugar a ese desplazamiento cuando haya dado *una* revolución. Si la rosca a tallar ha de tener 3 mm de paso el husillo de roscar tendrá que dar media revolución mientras la pieza da una entera (condición previa: el husillo de roscar ha de tener 6 mm de paso).

Se obtiene la deseada relación de velocidades entre la pieza y el husillo de roscar mediante un sistema de ruedas cambiables que se montan intercaladas entre los husillos de trabajo y de roscar (véase cáculo en la pág. 240).

El recambio de las ruedas dentadas para tallar roscas variadas es operación que resulta engorrosa. Los tornos modernos van provistos por esta razón de mecanismos de avance (véase pág. 21). Con ayuda de la tabla que los acompaña, pueden ponerse en juego, mediante accionamiento de una palanca, las relaciones de transmisión que correspondan al paso deseado.

El mecanismo de inversión (véase pág. 20) hace posible el embrague y desembrague del husillo de roscar, así como el cambio de sentido de rotación del mismo, necesario, por ejemplo, para tallar roscas a la derecha o a la izquierda.

ROSCADO DE PERNOS CON LA CUCHILLA DE ROSCAR

Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado: Mecanizado del tornillo para un dispositivo de extracción (fig. 9.41) (respecto al roscado de la tuerca, véase pág. 238).

Por medio de un montaje para extracción (fig. 9.42) pueden sacarse, de los árboles en que se hallen calados, casquillos, cojinetes a bolas, etc. Mediante un reducido paso de rosca puede conseguirse una fuerza notable.

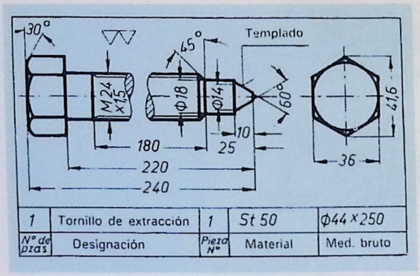


Figura 9.41 Plano de taller.

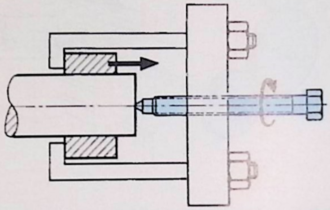
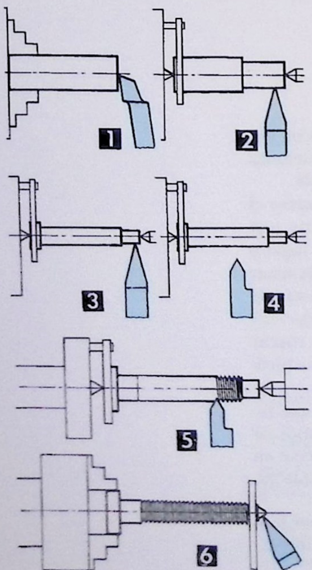


Figura 9.42 Dispositivo de extracción.

Plan de trabajo



	Fases del trabajo	Herramientas
1	Refrentar la pieza y centrarla	Útil de corte lateral; broca de centrar
2	Sujeción de la pieza entre puntos, desbastado y afinado al diámetro de la cabeza	Cuchilla de torno recta a la izquierda y cuchilla de punta
3	Desbastar y afinar la parte fileteada, a ∅ 24, y la espiga	Cuchillas recta, de punta y de corte lateral de torno
4	Disponer el torno para roscar y sujetar el útil de roscar	Ruedas dentadas cambio marchas; útil de roscar, plantilla de rosca
5	Tallado de la rosca	–
6	Torneado de la punta	Luneta; cuchilla de punta
7	Fresado de los cantos de la cabeza hexagonal	Fresa frontal
8	Templado de la punta	–
Instrumentos de medida y calibrado: pie de rey, pálmer, galga para roscas o calibre de anillo para roscas		

Mecanizado del perno roscado M 24 × 1,5

Si el paso de rosca no puede ajustarse con el mecanismo de avance, habrá que recurrir a los juegos de ruedas de intercambio (véase cálculo en pág. 240). Se da por supuesto que el husillo de roscar tiene un paso de 6 mm.

Al tallar la rosca hay que seguir un determinado orden en las operaciones (fig. 9.43).

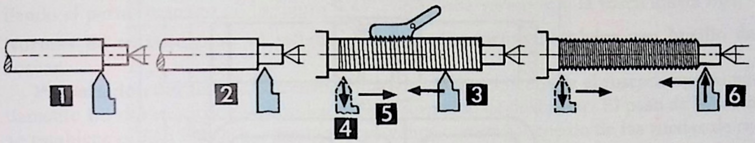


Figura 9.43

1. Hágase que el útil de roscar rasque ligeramente sobre la pieza.
2. Córrase el útil hasta quedar fuera de la pieza. Póngase a cero el anillo de ajuste y póngasele al útil un avance en profundidad igual a 0,2 milímetros.
3. Embráguese la tuerca del husillo de roscar y déjese que el útil corra sobre la pieza.
4. Al final de la rosca sepárese de la pieza el útil.
5. Ábrase la tuerca y llévese a mano el carro portaútil a la posición de partida. (La apertura de la tuerca es aquí posible porque la rosca es un múltiplo par de la rosca del husillo de roscar (véase pág. 239). Verifíquese el paso.
6. Ajústese un nuevo espesor de viruta con ayuda del anillo divisor y prosígase con varias pasadas hasta terminar de tallar la rosca.

Hay que procurar que la lubricación sea abundante.

Medición y verificación del perno roscado M 24 × 1,5

Las magnitudes de la rosca son: diámetro de la rosca, 24 mm; diámetro del núcleo, 22,052 mm, diámetro de los flancos, 23,026 mm; paso 1,5 mm y ángulo de los flancos 60° (véase tabla de roscas*).

El diámetro exterior debe medirse ya al tornear. Como instrumentos de medida pueden servir el pie de rey o el pálmer. En cuanto a las demás magnitudes de la rosca, lo más sencillo es verificarlas durante el mecanizado de la misma con calibres de roscas; por ejemplo, atornillando un calibre de anillo con rosca M 24 × 1,5. Si no se dispone de ningún calibre, se mide el diámetro del núcleo con las puntas de medida del pie de rey, por ejemplo, y el diámetro de los flancos con el pálmer para roscas (véase pág. 246). La forma de la rosca y el paso pueden medirse con la galga o plantilla para roscas.

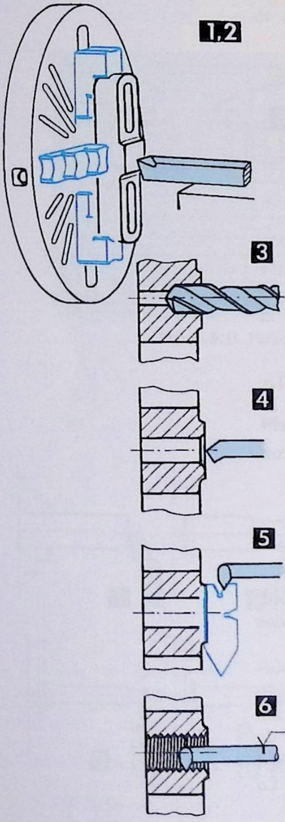
* Jutz-Scharkus. *Prontuario de metales*. Editorial Reverté, S.A., Barcelona.

ROSCADO DE TUERCAS CON LA CUCHILLA DE ROSCAR

Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado: Dotar de rosca al puente de extracción de la figura 9.44.

La pieza que nos ocupa corresponde al dispositivo de extracción de la página 236. El perno debe poderse atornillar en este puente.



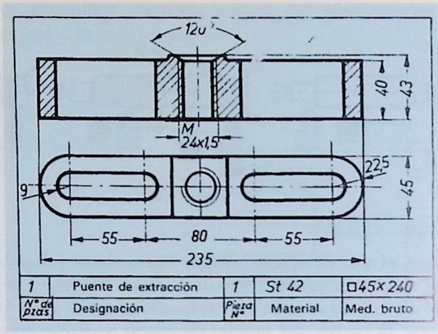


Figura 9.44 Plano de taller.

Plan de trabajo

	Fases del trabajo	Herramientas
1	Sujeción de la pieza y nivelación de la misma	Plato de torno; gramil
2	Refrentado de la cara frontal y centrado	Útil de torno recto a la izq.
3	Taladrado previo a ∅ 10 y ∅ 18	Brocas espirales de 10 SS y 18 SS
4	Ensanche con la cuchilla de interiores del diámetro del núcleo a 22,052; biselado	Cuchilla para torneado interior
5	Sujeción del útil de roscar	Útil de roscar, galga de rosca
6	Tallado de la rosca	—
Instrumentos de medida y calibrado: pie de rey, compás de interiores, calibre macho para roscas.		

Mecanizado de la rosca hembra M 24 × 1,5

El útil de roscar hay que sujetarlo haciendo uso de una galga y tan en corto como sea posible. Con objeto de que al roscar no sobrepase demasiado el taladro, se le proveerá de una marca.

Los puntos de vista expuestos para el mecanizado de roscas exteriores (pág. ant.) son aplicables también para las roscas interiores con las lógicas modificaciones. La

profundidad de viruta hay que tomarla menor que para las roscas exteriores en virtud de la flexión del útil de roscar.

Medida y verificación de la rosca hembra M 24 × 1,5

La verificación de la rosca puede hacerse atornillándole un calibre macho M 24 × 1,5. Antes de atornillarlo hay que eliminar cuidadosamente del taladro que se ha roscado las virutas que pudiera contener. Si no se dispone de calibre macho, como puede suceder, por ejemplo, en la fabricación de piezas sueltas, la verificación se hace atornillando el perno roscado de la figura 9.41, con lo que veremos si la rosca ajusta bien.

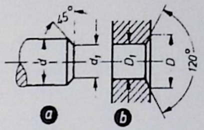


Figura 9.45 Preparación de las piezas para el tallado de roscas. **a)** Rosca de perno o tornillo, d diámetro exterior de la rosca, d_1 diámetro del núcleo de la rosca; **b)** rosca hembra o de tuerca; D diámetro exterior de la rosca, D_1 diámetro del núcleo de la rosca.

Normas de trabajo para el tallado de roscas en tornos paralelos con husillo de roscar

Preparación del torno. Como velocidad de corte se elige para el roscado aproximadamente 1/3 del valor que se emplea para el torneado de desbastar. El paso de la rosca se establece o bien con el mecanismo de avance o bien por medio de las ruedas de reducción.

Tallado de la rosca. Para tallar roscas hace falta dar varias pasadas.

En la pasada previa se arrancan virutas gruesas (fig. 9.45). El útil se dispone, para ello, en posición perpendicular al eje y se le hace avanzar lateralmente por medio del anillo de ajuste. En el corte de acabado el útil avanza sólo perpendicularmente. En ambos flancos se arrancan virutas finas para que la rosca resulte correcta de medidas y lisa.

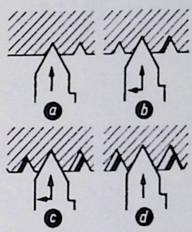


Figura 9.46 Ajuste del útil para cortar una rosca de sección triangular. **a)** Primer corte; **b)** segundo corte; **c)** tercer corte, cuarto corte, etcétera; **d)** corte de acabado.

Después de cada pasada hay que separar de la pieza el útil. El carro portaherramientas tiene que ser llevado a la posición inicial y el útil, después de ajustar la profundidad de viruta, debe entrar en el surco de rosca cortado anteriormente (fig. 9.47).

Para conseguir del modo más seguro la entrada del útil de roscar, lo mejor es hacer que el carro portaherramientas retroceda, haciendo para ello que el husillo de trabajo gire hacia la izquierda. La tuerca del husillo de roscar permanece en tanto cerrada hasta el final del roscado. En roscas largas este procedimiento resulta engorroso.

Si la rosca que se mecaniza es un múltiplo de la del husillo de guía, podrá abrirse la tuerca matriz al final de la longitud de rosca y volverse a cerrar en el sitio deseado después del retroceso del carro portaherramientas. Esto ocurre, por ejemplo, con un paso del husillo de roscar igual a 6 mm, para los siguientes pasos de rosca: 0,3; 0,4; 0,5; 0,75; 1; 1,2; 1,5; 2; 3; 6 mm. Si el paso de la rosca no es múltiplo del paso del husillo hay que señalar la posición de embrague de la tuerca. Para esto se utiliza frecuentemente el indicador de pasos de rosca. Cuando se tallan roscas con pasos en pulgadas empleando un husillo de roscar métrico o viceversa, tiene que retroceder siempre el carro con la tuerca cerrada.

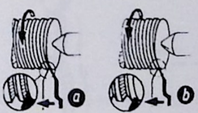


Figura 9.47 Entrada del útil en el surco de rosca anteriormente tallado. **a)** El útil entra en el surco anteriormente abierto; **b)** el útil no entra en el surco anteriormente abierto (operación defectuosa).

Las roscas a la derecha o a la izquierda se mecanizan por medio de sentidos de avance encontrados (fig. 9.48).

Las roscas de sección trapecial se mecanizan por medio de un roscado previo y de uno final.

La lubricación refrigerante (tabla 9.2, pág. 231) es necesaria para disminuir el roce entre la pieza y la herramienta; la vida del útil de roscar aumenta con ello y no se perjudican los flancos de los filetes.

Los defectos en el roscado pueden producirse de distintos modos:

a) Por medidas erróneas de la rosca, como, por ejemplo, en diámetros y longitudes, por defectos de los calibres.

b) Por forma incorrecta de los filetes debida a un afilado defectuoso o a mala sujeción del útil de roscar.

c) Por estar el paso equivocado debido a error en las ruedas de reducción o en la maniobra del mecanismo de avance.

d) Por aspereza de los flancos producida por empleo de un útil de roscar embotado.

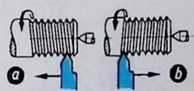


Figura 9.48 Cortes de roscas a la derecha y a la izquierda. **a)** Rosca a la derecha; **b)** rosca a la izquierda.

Cálculo de las ruedas intercambiables (solamente necesario en casos excepcionales)

Notaciones (véase fig. 9.49).
P_W = paso de la rosca a tallar (avance por vuelta de la cuchilla).
P_L = paso de rosca del husillo de roscar.
z_1 = número de dientes de la rueda motriz Z_1.
z_2 = número de dientes de la rueda arrastrada Z_2.
Z = rueda intermedia sin influencia sobre la reducción; esta rueda tiene un número z de dientes arbitrario.

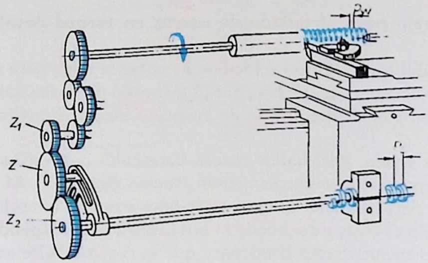


Figura 9.49 Mecanismo de ruedas intercambiables.

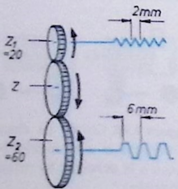
La rueda Z_1 es accionada a través del mecanismo de inversión y tiene el mismo número de vueltas que el husillo del cabezal.

Ejemplo (véase figura 9.49): para tallar una rosca de paso $P_W = 3$ mm con un husillo de roscar de paso $P_L = 6$ mm, tendrá que girar éste media vuelta por cada vuelta completa que realice la pieza. Esto se consigue por medio de las ruedas dentadas Z_1 y Z_2; por ejemplo, si $z_1 = 30$ dientes, $z_2 = 60$ dientes. Es decir, que el número de dientes de la rueda dentada motriz (Z_1) guarda con respecto al de dientes de la rueda arrastrada (Z_2) la misma relación que tienen entre sí el paso de la rosca que vamos a mecanizar y el husillo de roscar.

$$\frac{\text{n.º dientes rueda motriz } z_1}{\text{n.º dientes rueda arrastrada } z_2} = \frac{\text{paso de la rosca } P_W}{\text{paso del husillo de roscar } P_L} \qquad \boxed{\frac{z_1}{z_2} = \frac{P_W}{P_L}}$$

El juego de ruedas cambiables consta de ruedas dentadas con los siguientes números de dientes: 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60; 65; 70; 75; 80; 85; 90; 95; 100; 110; 120; 125; 127.

Los husillos de roscar tienen pasos en pulgadas o en milímetros. Estos pasos están normalizados y para los husillos métricos son de: 4; 6; 12 o 24 mm. Los husillos en pulgadas son de pasos de 1/4'' o 1/2''.



Ejemplo de cálculo

Husillo de roscar con paso en milímetros. Pieza con paso en milímetros
Ejemplo 1.º: Paso de rosca, 2 mm; paso del husillo, 6 mm.

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{P_W}{P_L} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3} \text{ (se enuncia diciendo: 1 a 3).}$$

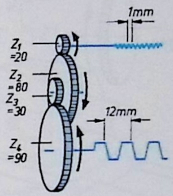
El quebrado 1/3 se amplía multiplicando sus términos por un número conveniente para que obtengamos números de dientes adecuados.

$$\frac{z_1}{z_2}=\frac{P_W}{P_L}=\frac{2}{6}=\frac{1}{3}=\frac{20}{60} \text{ ó también } \frac{30}{90}\text{, etc.}$$ (se enuncia diciendo: 20 a 60 ó 30 a 90, respectivamente)

$Z_1 = 20$ dientes, $Z_2 = 60$ dientes, o $Z_1 = 30$ dientes, $Z_2 = 90$ dientes.

Entre ambas ruedas se coloca en la guitarra una de número arbitrario de dientes.

Ejemplo 2.º: Paso de rosca, 1 mm; paso del husillo, 12 mm.



$$\frac{z_1}{z_2}=\frac{P_W}{P_L}=\frac{1}{12}$$

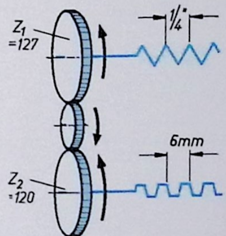
Ampliando la fracción 1/12 no se obtienen números convenientes de dientes; por esta razón se descompone en dos quebrados y se amplía cada uno por medio de un multiplicador adecuado de ambos términos.

$$\frac{1}{12}=\frac{1}{4}\cdot\frac{1}{3}=\frac{20}{80}\cdot\frac{30}{90}$$

Resultan así dos pares de ruedas intercambiables (doble reducción)

$$\frac{z_1}{z_2}=\frac{20}{80} \text{ y } \frac{z_3}{z_4}=\frac{30}{90};$$ ruedas motrices Z_1 y Z_3, ruedas arrastradas Z_2 y Z_4

Husillo de roscar con paso en milímetros, pieza con paso en pulgadas

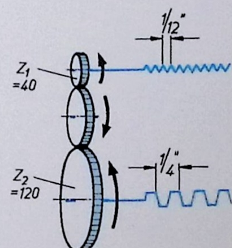


Ejemplo 3.º: Pieza, 4 hilos por 1'', o sea, paso = 1/4'' = 25,4 mm/4; husillo: paso = 6 mm.

$$\frac{z_1}{z_2}=\frac{P_W}{P_L}=\frac{1/4''}{6\text{ mm}}=\frac{25{,}4}{4}\cdot\frac{1}{6}=\frac{12{,}7}{2}\cdot\frac{1}{6}=\frac{12{,}7}{12}=\frac{127}{120}$$

$Z_1 = 127$ dientes
$Z_2 = 120$ dientes

Husillo con paso en pulgadas, pieza con paso en pulgadas



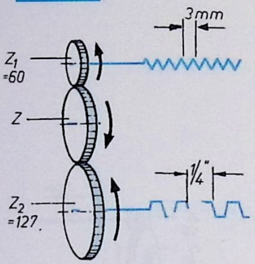
Ejemplo 4.º: Pieza, 12 hilos por 1'', paso = 1/12''. Husillo, 4 pasos por 1'', paso = 1/4''.

$$\frac{z_1}{z_2}=\frac{P_W}{P_L}=\frac{1/12''}{1/4''}=\frac{1''}{12}\cdot\frac{4''}{1}=\frac{4}{12}=\frac{40}{120}$$

$Z_1 = 40$ dientes
$Z_2 = 120$ dientes

Husillo con paso en pulgadas, pieza con paso en milímetros

Ejemplo 5.º: Pieza, paso = 3 mm, husillo, 4 hilos por 1'', paso = 1/4''



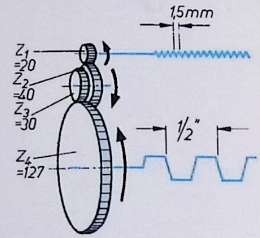
$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{P_W}{P_L} = \frac{3\text{ mm}}{1/4''} = \frac{3}{25{,}4/4} = \frac{3 \cdot 4}{25{,}4} = \frac{12}{25{,}4}$$

$$(\text{multiplicando por 5 ambos términos}) = \frac{60}{127}$$

Z_1 = 60 dientes
Z_2 = 127 dientes

Ejemplo 6.º: Pieza, paso = 1,5 mm, husillo: 2 hilos por 1'', paso = 1/2''

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{P_W}{P_L} = \frac{1{,}5\text{ mm}}{1/2''} = \frac{1{,}5}{25{,}4/2} = \frac{1{,}5 \cdot 2}{25{,}4} = \frac{3}{25{,}4}$$



Como no hay número que multiplicando ambos términos dé ruedas dentadas, se descompone el quebrado 3/25,4, en dos quebrados, substituyendo después cada uno de ellos por otro equivalente.

$$\frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{12{,}7} = \frac{20}{40} \cdot \frac{30}{127}$$

Ruedas motrices: Z_1 y Z_3 = 20 y 30 dientes.
Ruedas arrastradas: Z_2 y Z_4 = 40 y 127 dientes.

Tallado de roscas en el torno revólver

El torno revólver se utiliza para tallar roscas en gran número de piezas. El roscado tiene lugar aquí principalmente en combinación con otros trabajos de torno (figura 9.50).

Como herramientas se usan: terrajas, machos de roscar, terrajas de apertura automática, cuchillas de roscar y peines de roscar. Las piezas se sujetan en el plato de sujeción correspondiente. En la torreta del torno se sujetan las herramientas de roscar.

Los cojinetes y los machos de roscar exigen para la separación de la pieza la inversión del sentido de rotación.

Las terrajas de apertura automática para roscas exteriores e interiores se abren automáticamente después de haber cortado la rosca de modo que ahorran la inversión del sentido de giro.

Las cuchillas de roscar (un solo diente o corte) y los **peines de roscar** se usan generalmente con plantillas y estrellas de roscas en la misma forma que en el torno copiador de roscas con montaje suspendido para roscar (véase fig. 9.33).

Tallado de roscas en la taladradora

El macho de roscar se sujeta en el mandril de sujeción (portabrocas) y la pieza en la mesa de la taladradora (fig. 9.51). El taladrado del agujero del núcleo y el tallado de la rosca se hacen, por lo general, sin cambiar la sujeción de la pieza.

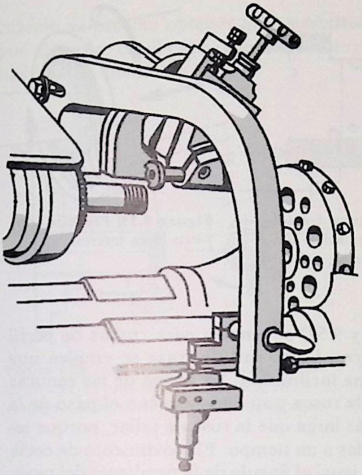


Figura 9.50 Tallado de roscas en el torno revólver.

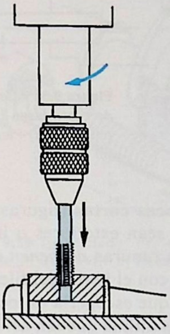


Figura 9.51 Tallado de roscas en la taladradora.

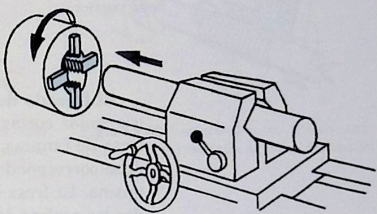


Figura 9.52 Tallado de roscas en la máquina de roscar.

Si el avance es accionado a mano, el macho de roscar, en virtud de su forma helicoidal, se introduce por sí mismo con el avance correcto en el agujero del núcleo tan pronto como haya agarrado en la embocadura de éste. Para desatornillar el macho es necesario invertir el sentido de rotación. Frecuentemente están provistas las taladradoras de un dispositivo de movimiento de avance forzado, por ejemplo, a base de una plantilla guiadora, quedando así garantizada la ejecución de roscas limpias y ajustadas a las dimensiones correctas.

Tallado de roscas en la máquina de roscar

Las máquinas de roscar (fig. 9.52) se emplean en la fabricación en serie. El portapeine de roscar se halla dispuesto sobre el husillo principal que puede ajustarse a distintos números de revoluciones. El perno que se quiere roscar se sujeta en un carro y para tallar los filetes se introduce en el portapeine.

Fresado de roscas

Por medio de la operación de fresado pueden mecanizarse de modo económico los perfiles usuales de rosca, salvo el de sección cuadrada. Se distingue entre *fresado de rosca larga* y *fresado de rosca corta.*

El fresado de rosca larga (figs. 9.53, 9.54 y 9.55) exige como útil de corte una fresa de forma, que se ajuste a la de la rosca deseada. El eje de la fresa tiene que guardar una posición perpendicular al eje de la rosca. El paso de rosca se obtiene por desplazamiento longitudinal de la fresa. La rosca se mecaniza en una o en varias pasadas.

La *máquina de fresar roscas largas* (fig. 9.54) se asemeja al torno. Para sujetar la fresa se utiliza un cabezal portafresas que puede desplazarse para ajustarse a la pendiente del paso. El cabezal portafresas se halla dispuesto sobre el carro longitudinal, cuyo movimiento en esa dirección es por medio de un husillo de roscar. Pueden fresarse roscas exteriores e interiores.

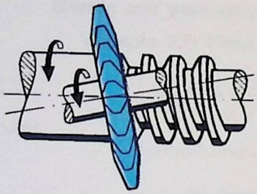


Figura 9.53 Fresado de rosca larga exterior.

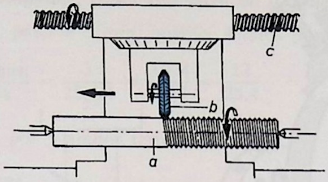


Figura 9.54 Máquina para fresado de rosca larga (representación simplificada) *a*) Pieza; *b*) fresa; *c*) husillo de guía.

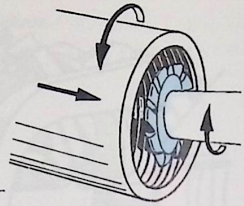


Figura 9.55 Fresado de rosca larga interior.

El fresado de roscas cortas (figuras 9.56 y 9.57) se emplea para roscas de perfil triangular cortas, ya sean exteriores o interiores. Como útil de corte se emplea una fresa de ranuras. Las ranuras *no tienen* ninguna inclinación. La forma de las ranuras debe corresponderse con el perfil del filete de la rosca y su distancia con el paso de la misma. La fresa hay que escogerla un poco más larga que la rosca a tallar, porque todas las espiras de esta última quedan así fresadas a un tiempo. El movimiento de corte lo realiza la fresa colocada con una inclinación igual al ángulo de la pendiente del paso. La pieza realiza durante el mecanizado de la rosca algo más de una revolución. Durante *una* revolución *la pieza* es desplazada en dirección longitudinal en una magnitud igual al paso. Existen también máquinas para fresar roscas cortas en las cuales es *la fresa* la que recibe el movimiento longitudinal.

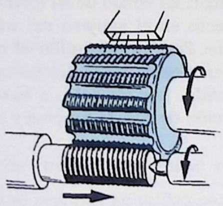


Figura 9.56 Fresado de rosca corta exterior.

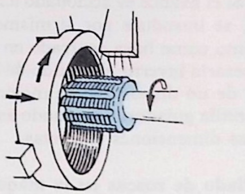


Figura 9.57 Fresado de rosca corta interior.

Tallado orbital de roscas

En este procedimiento de trabajo se hacen roscas triangulares trapeciales y en diente de sierra en una sola pasada y en poquísimo tiempo con gran velocidad de corte, gran precisión y elevada calidad superficial (fig. 9.58).

Un cabezal portacuchillas equipado con una cuchilla de roscar, de metal duro, gira con velocidad de unas 300 rev/min y realiza simultáneamente el movimiento de avance. La pieza gira a razón de 0,4 a 5 m/min. El útil de roscar, en virtud de la posición excéntrica, encuentra la pieza cada vez en un sitio y arranca con ello una delgada viruta que corresponde al perfil completo de la rosca. Hay también dispositivos con dos y más útiles. Pueden ejecutarse por este procedimientos roscas exteriores e interiores. El ahorro de tiempo respecto al tallado de roscas convencional viene a ser de un 90 %.

Esmerilado de roscas

Mediante esmerilado puede dotarse de rosca a piezas sin templar, pero también, sobre todo, a piezas templadas (figs. 9.59 y 9.60). Se elige el procedimiento de esmerilado

cuando es preciso obtener gran exactitud y muy buena calidad superficial como pasa, por ejemplo, en el caso de machos de roscar, calibres machos y de anillo para roscas, husillos de medición, etc.

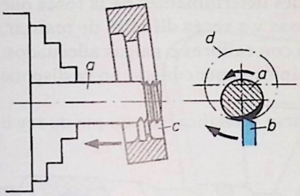


Figura 9.58 Tallado orbital. *a*) Pieza; *b*) útil de roscar; *c*) cabezal portacuchillas; *d*) circunferencia de vuelo de la cuchilla de roscar.

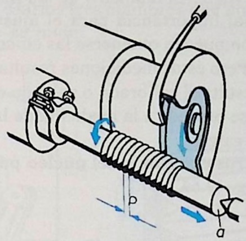


Figura 9.59 Esmerilado de roscas con muela de un solo perfil. *a*) Pieza; *P*) paso de la rosca.

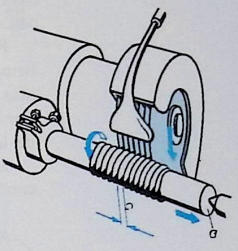


Figura 9.60 Esmerilado de roscas con muela de perfil múltiple. *a*) Pieza; *P*) paso de la rosca.

Para esmerilar se utilizan muelas de un solo perfil y de perfiles múltiples. El perfil de las muelas se tornea o repasa con diamante que es guiado mediante un montaje en la máquina de esmerilar roscas. La muela recibe su movimiento mediante la máquina de esmerilar. La pieza gira a reducido número de revoluciones y realiza el movimiento de avance que corresponde al paso de rosca. Las roscas de pequeño paso se esmerilan directamente del material lleno. Las roscas grandes reciben un tallado o fresado previo.

Laminado de roscas

La rosca se lamina por medio de mordazas planas estriadas o de rodillos (fig. 9.61). Se trata de un procedimiento de trabajo sin arranque de viruta, que es empleado en la fabricación de grandes series.

La superficie de la rosca resulta pulimentada por presión. En partes sometidas a un esmerilado previo se puede obtener la calidad superficial «fina». Como las fibras no quedan interrumpidas, las piezas roscadas presentan buenas propiedades de resistencia (fig. 9.64). Ejemplo: Tiempo de laminado de una rosca trapecial 20 × 5, de 1000 mm de longitud, 4 minutos.

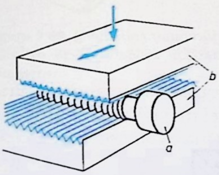


Figura 9.61 Laminado de roscas con mordazas planas. *a*) Pieza; *b*) mordazas planas. Las mordazas están soportadas por la máquina laminadora de roscas. La mordaza superior se hace pasar con gran presión sobre la pieza. Con ello quedan marcados los filetes de rosca.

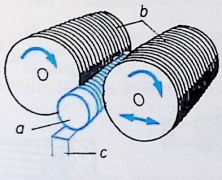


Figura 9.62 Laminado de roscas con rodillos. *a*) Pieza; *b*) rodillos; *c*) apoyo o guía. La pieza está dispuesta entre un rodillo de posición fija y otro que es desplazable que presiona. Pueden laminarse roscas cortas y largas.

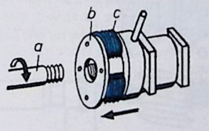


Figura 9.63 Roscado por cilindrado mediante grueso cabezal de rodillos. *a*) Pieza; *b*) cabezal con rodillos; *c*) rodillos. La rosca es laminada mediante tres rodillos. La cabeza portarrodillos se abre automáticamente después de ejecutarse la rosca.

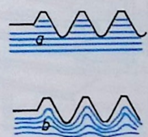


Figura 9.64 Forma de las fibras del material. *a*) En el caso de roscas talladas; *b*) en el de rosca obtenida por cilindrado o laminado.

Medida y calibrado de roscas

En una rosca hay que tener en cuenta cinco magnitudes determinantes (véase fig. 9.8, pág. 225): diámetros exterior, del núcleo y de los flancos, paso y ángulo de los flancos o perfil del filete. El diámetro de los flancos, el paso y el ángulo de los flancos, tienen una especial importancia para el ajuste de la rosca (véase fig. 9.16, pág. 227).

Por medición pueden obtenerse las cinco magnitudes determinantes de la rosca que hemos citado. Pero estas mediciones resultan engorrosas y a veces difíciles de realizar. Más sencillo resulta el calibrado o galgado de la rosca con calibres o galgas adecuados. Por lo general se procede a la medición de las roscas únicamente cuando no se dispone de las citadas galgas.

Los diámetros exterior y del núcleo pueden medirse y verificarse con pie de rey o con pálmer (fig. (9.64 bis).

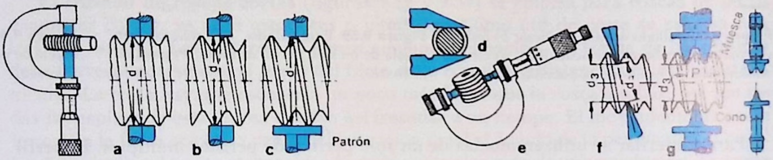


Figura 9.64 bis Medición de los diámetros exterior y del núcleo. Diámetro exterior: *a*) correcto, *b*) incorrecto, *c*) correcto. Diámetro del núcleo; *d*) medición con los picos del pie de rey, *e*) medición con pálmer para roscas (muesca y cono del núcleo engastados y recambiables), *f*) la cota medida d_g es mayor que el diámetro d_3 del núcleo; *g*) mediante medición con cono y muesca apropiados se obtiene el diámetro correcto d_3 del núcleo.

El diámetro de los flancos puede medirse con un calibre micrométrico para roscas exteriores e interiores. Para la medición en el taller, el instrumento más usado es el calibre para roscas provisto de dos cuerpos de medida configurados en forma de cono y de muesca (figuras 9.65 y 9.66). La muesca y el cono son recambiables y tienen para cada paso de rosca una magnitud diferente. Antes de la medición se introducen en los taladros de que para ese fin, va provisto el calibre.

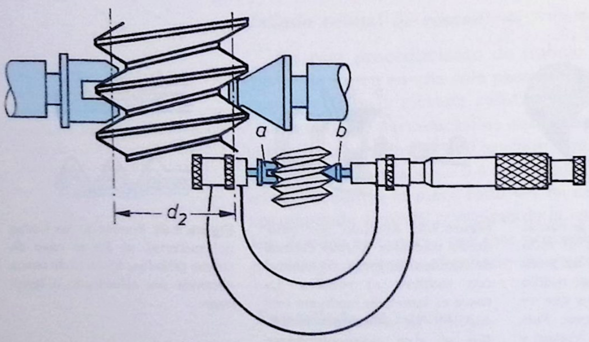


Figura 9.65 Medición del diámetro de los flancos d_2 con muesca y cono. *a*) Muesca; *b*) cono.

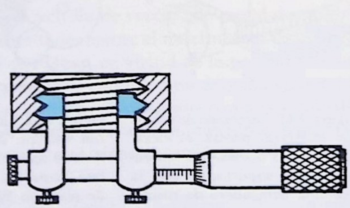


Figura 9.66 Medición con el calibre para roscas interiores.

Para una medición exacta del diámetro de los flancos se emplean frecuentemente unos *alambres de medición* dispuestos en soportes adecuados (figs. 9.67 y 9.68). Los soportes se aplican al tope fijo, o yunque, y al husillo de un calibre micrométrico. El diámetro de los flancos correspondientes a la medida de comprobación *P* obtenida, se saca de unas tablas. Para la medición son necesarios tres alambres que pueden tener un diámetro adecuado al paso de la rosca que se mide.

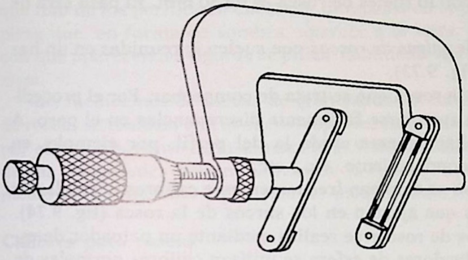


Figura 9.67 Calibre provisto de soportes para los alambres de medición.

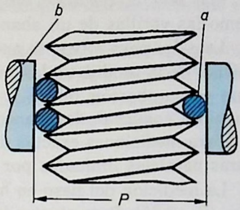


Figura 9.68 Alambres de medida para medición de los flancos. *a*) Alambres de medición; *b*) tope fijo o yunque y husillo del pálmer; *P*) medida de comprobación.

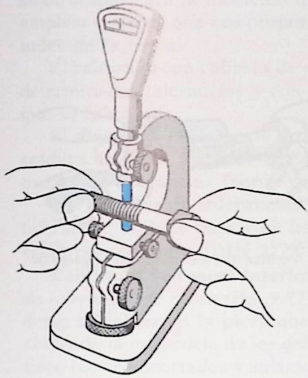


Figura 9.69 Medición comparativa del diámetro de los flancos utilizando el minímetro.

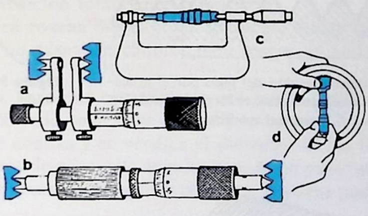


Figura 9.70 Calibre para roscas interiores. *a*) con puntas de medición; *b*) calibre de puntas para roscas de diámetros superiores a los 100 mm; *c*) ajuste con un pálmer para roscas; *d*) medición.

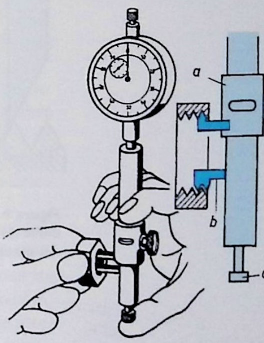


Figura 9.71 Comparador para roscas interiores. *a*) Brazo fijo de medición con muesca; *b*) brazo móvil de medición con cono, unido a la espiga palpadora del comparador; *c*) botón de presión para elevar el brazo móvil de medición.

Ejemplo: Para medir el diámetro de los flancos de una rosca M 24, se necesitan alambres con diámetro igual a 2,05 mm. El diámetro de los flancos tiene la medida correcta (22,051 mm) si la medida de comprobación *P* es igual 25,606 mm.

Por medio de *instrumentos de comparación*, como por ejemplo, el *comparador* o el *minímetro* (figs. 9.69 y 9.71), pueden determinarse las discrepancias del diámetro de los flancos con la medida nominal. Antes de la medición han de ajustarse los instrumentos de acuerdo con una pieza patrón, por ejemplo, con un calibre de anillo para roscas o un calibre macho para roscas.

Las **roscas interiores** son más difíciles de medir que las exteriores. Generalmente no se miden nada más que algunas magnitudes determinantes. Lo más corriente es proceder al calibrado (fig. 9.70).

El **paso** puede determinarse contando los hilos de rosca (fig. 9.72).

En una rosca métrica se mide la longitud ocupada por varios hilos de rosca (a poder ser, diez) con los picos del pie de rey. Para obtener el paso se divide la distancia media por el número de hilos o filetes.

Ejemplo: La longitud ocupada por 10 filetes de rosca es de 30 mm. El paso será de 30 mm : 10 = 3 mm.

Más sencillo resulta el empleo de *galgas de roscas* que suelen ir reunidas en un haz como las varillas de un abanico (fig. 9.73).

La galga para roscas se aplica a la rosca que se trata de comprobar. Por el procedimiento de la rendija de luz pueden apreciarse fácilmente discrepancias en el paso. A esta comprobación puede ir simultáneamente unida la del perfil, por ejemplo, en cuanto a ángulo de los flancos, redondeamiento, etc., etc.

Para mediciones exactas del paso se emplean frecuentemente calibres normales de caras paralelas limitadas por picos que ajustan en los surcos de la rosca (fig. 9.74).

La medición del paso en husillos de roscar se realiza mediante un palpador de esfera (fig. 9.75). Para ajustar los palpadores de esfera se utilizan calibres normales de extremos (o sea de caras paralelas). Al aplicar el aparato se miden en el micrómetro de esfera las discrepancias respecto a la medida teórica.

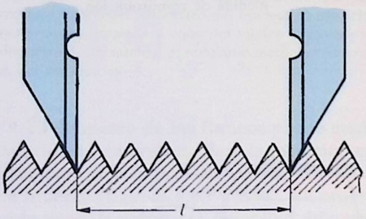


Figura 9.72 Determinación del paso por el procedimiento de contar los filetes; *a*) Picos de medición del pie de rey) *l*) magnitud medida.

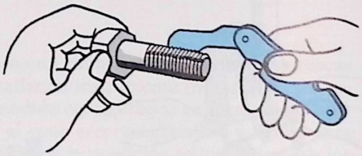


Figura 9.73 Verificación del paso con la galga de roscas.

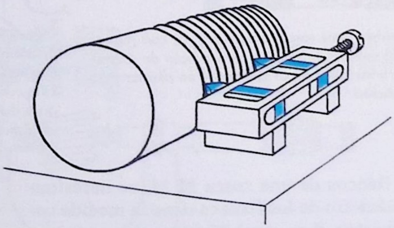


Figura 9.74 Medición del paso mediante calibres normales de caras paralelas con picos de medición que limitan la magnitud medida.

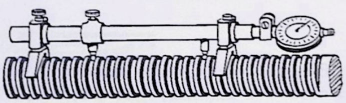


Figura 9.75 Medidor de paso de rosca para husillos de roscar. Para ajustar los palpadores de esfera se emplean calibres normales de caras paralelas. Al aplicar el aparato se miden en el micrómetro de esfera las discrepancias respecto a la medida teórica.

Los ángulos de los flancos y el perfil de la rosca se comprueban en casos sencillos con plantillas de rosca.

Para la verificación exacta es necesario disponer de un microscopio de taller (fig. 9.76).

Sobre una placa de cristal del citado microscopio están muy claramente delineados los perfiles corrientes de rosca. Los distintos perfiles pueden irse girando sucesivamente para ser colocados en el campo de visión del ocular. Se procura entonces hacer que uno de los perfiles en cuestión, dibujados en la placa, cubra al perfil de rosca de la pieza que, en forma de sombra, aparece a la vista. En virtud de los treinta aumentos con que aparecen las figuras se puede fácilmente apreciar cualquier discrepancia que exista.

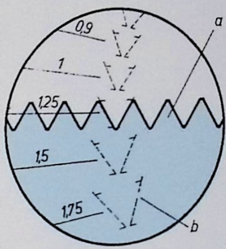


Figura 7.76 Verificación del perfil de una rosca métrica por medio del microscopio de taller. *a*) Sombra de la rosca a verificar; *b*) perfiles tipo delineados sobre el aparato.

Las mediciones de roscas de gran exactitud como, por ejemplo, las de los calibres de rosca, se realizan con el *microscopio medidor universal*. Además de la verificación es por el procedimiento de la sombra (fig. 9.76), pueden medirse también exactamente las demás magnitudes determinativas de la rosca. Por lo muy delicado que es el instrumento no se usa sino en la sala de mediciones.

Calibres para roscas

Cuando se mecanizan en cantidad piezas roscadas es antieconómico ir midiendo cada una de las magnitudes determinativas de las roscas, porque en algunos casos resultaría más cara la medición que la misma pieza. En lugar de ello, lo que se hace es emplear calibres que nos proporcionan una verificación simultánea de todas las magnitudes de la rosca.

El calibrado con calibres de «pasa», «no pasa» es la condición previa para mantener determinadas tolerancias y con ello para la intercambiabilidad de las piezas roscadas que se fabriquen.

El **diámetro exterior** de una rosca exterior puede calibrarse con un calibre de herradura de pasa, no pasa; el *diámetro del núcleo* de una rosca interior con un calibre macho de tolerancias (perno de medición totalmente cilíndrico).

Los **calibres de tolerancias para roscas** tienen como todos los demás calibres de tolerancia, un lado pasa y un lado no pasa. Los calibres para roscas de perfil métrico están normalizados (DIN 2279).

Calibrado de roscas interiores. Para esta operación se utilizan los *calibres machos de tolerancia de rosca* (fig. 9.77). El lado pasa tiene el perfil completo. Tiene que poderse atornillar en la pieza que se analiza y se verifica el diámetro de los flancos incluyendo la influencia de los defectos de paso y de ángulo. El lado no pasa (anillo rojo) tiene flancos acortados y solamente unos cuantos hilos de rosca. No debe poderse atornillar (fig. 9.79).

Calibrado de roscas exteriores. Los *anillos para calibrado de roscas* se emplean por lo general solamente para piezas de pared delgada. El anillo para calibrado lado pasa de roscas (fig. 9.78) tiene el perfil completo de la rosca y debe poderse atornillar sobre

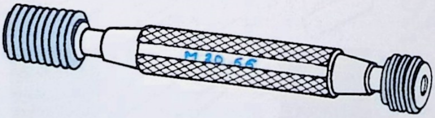


Figura 9.77 Calibre macho de tolerancia de rosca.

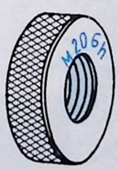


Figura 9.78 Calibre de anillo lado pasa para roscas.

la pieza que se ensaya. El anillo-calibre de lado no pasa para roscas (anillo rojo) tiene flancos acortados. No debe poderse atornillar.

Los *calibres de rodillos para tolerancia de roscas* son los que se emplean predominantemente (fig. 9.80). El enroscado y desenroscado como en el anillo de calibrado de roscas no existe aquí, pues las piezas de pared delgada pueden estrecharse. Los rodillos para «pasa» y para «no pasa» están enfrentados y soportados de modo giratorio en un cuerpo de rodillos. El par de rodillos «pasa» tiene el perfil completo de la rosca y debe poderse conducir sobre la pieza que se ensaya. En el caso del par de rodillos de «no pasa» uno de los rodillos lleva dos discos de medición y el que va enfrentado con él, un sólo disco de medición. Las superficies de medición están acortadas. Cuando se calibra, el par de rodillos de «no pasa» no debe pasar sobre la pieza que se ensaya. Ambos pares de rodillos se pueden ajustar para una determinada magnitud de tolerancia de acuerdo con un calibre de ajuste para roscas.

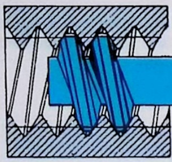


Figura 9.79 Verificación del diámetro de los flancos D_2 con el lado no pasa del calibre macho de tolerancia de rosca. Observación: La rosca interior se ha representado aquí como no pasa.

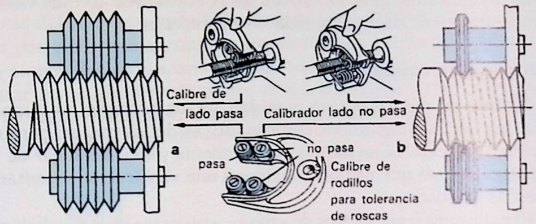


Figura 9.80 Calibrado de roscas exteriores con el calibre de rodillos para tolerancia de roscas. *a*) Calibrado pasa; *b*) calibrado no pasa.

Capítulo 10

Mecanizado de ruedas dentadas

Empleo de ruedas dentadas

Por medio de ruedas dentadas se transmiten movimientos de rotación y momentos de torsión. La transmisión es *desmodrómica* porque engranan entre sí los dientes y los espacios entre diente y diente.

Hay ruedas dentadas interiormente y exteriormente (fig. 10.1).

En las ruedas dentadas exteriormente el sentido de rotación es opuesto cuando van acopladas.

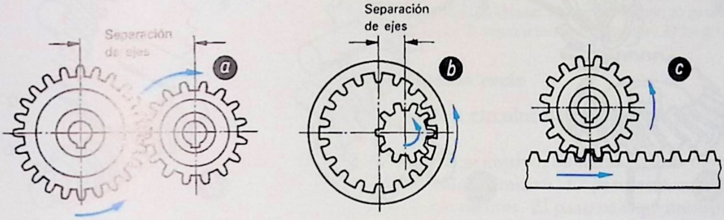


Figura 10.1 Ruedas dentadas con dentado exterior e interior. *a*) Dentado exterior (sentidos de rotación opuestos); *b*) dentado interior (igual sentido de rotación, pequeña distancia entre ejes); *c*) cremallera con rueda dentada (se transforma el movimiento de rotación en uno rectilíneo del mismo sentido o viceversa).

Las ruedas dentadas interiormente tienen el mismo sentido de giro que las ruedas interiores que engranan entre ellas, y la distancia entre sus ejes es pequeña.

Mediante una rueda dentada y una cremallera se transforma el movimiento de rotación en un movimiento rectilíneo del mismo sentido.

Engranajes y formas de las ruedas dentadas

Dos o más ruedas dentadas que engranan entre sí constituyen un engranaje. La rueda más pequeña se llama piñón. Según la posición de los ejes existen distintas formas fundamentales de ruedas dentadas.

Engranajes de ruedas frontales (fig. 10.2). Los árboles tienen posición paralela. La

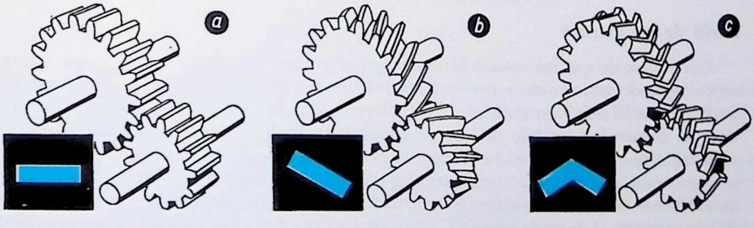


Figura 10.2 Engranajes de ruedas frontales. *a*) Ruedas frontales con dientes rectos; *b*) ruedas frontales con dientes inclinados; *c*) ruedas frontales con dientes en forma de flecha.

forma fundamental de las ruedas dentadas es un cilindro. Los dientes pueden ser rectos, inclinados o de flecha (dientes en V).

Los *dientes rectos* son los más empleados.

Los *dientes inclinados* funcionan con menos ruido porque el engrane tiene lugar de un modo paulatino. Se produce, no obstante, un empuje axial que ha de ser soportado por un cojinete de empuje.

Los *dientes en forma de flecha* se emplean para grandes potencias. El empuje axial queda compensado en estos engranajes.

Engranajes cónicos (fig. 10.3). Los árboles se cortan aquí en un punto. Las ruedas tienen una forma fundamental cónica. Existen ruedas cónicas con dientes rectos, inclinados y curvos.

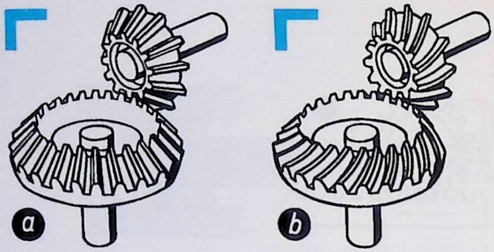


Figura 10.3 Engranajes de ruedas cónicas. *a*) Ruedas cónicas con dientes rectos; *b*) ruedas cónicas con dientes curvos.

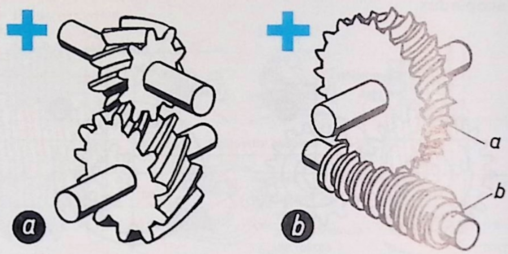


Figura 10.4 (a) Engranaje de ruedas helicoidales; (b) engranaje de tornillo sin fin; *a*) rueda helicoidal; *b*) tornillo sin fin.

Engranajes de ruedas helicoidales (fig. 10.4). Los árboles se cruzan. Las ruedas helicoidales son ruedas frontales con el dentado inclinado y con el mismo sentido en la inclinación de los filetes.

Engranaje de tornillo sin fin. Los árboles se cruzan. El engranaje consta de tornillo sin fin y rueda helicoidal y es apropiado para grandes relaciones de transmisión. Tiene un funcionamiento silencioso y ocupa poco sitio. La rueda helicoidal es siempre arrastrada por el tornillo sin fin.

Los tornillos sin fin tienen rosca trapecial y paso de módulo. Pueden ser de un filete (un diente) o de varios filetes (varios dientes).

Los engranajes de ruedas frontales y los de ruedas cónicas son *engranajes de rodadura* porque en ellos las ruedas ruedan una sobre la otra. Los engranajes de ruedas helicoidales y de tornillos sin fin se designan como *engranajes helicoidales*.

Perfil de los dientes

Con objeto de que las ruedas dentadas que engranan entre sí, trabajen sin sacudidas y produciendo poco ruido y rozamiento, los dientes tienen que tener un determinado perfil. El perfil más corriente es el de evolvente. Una evolvente es la curva que se produce al desarrollar un hilo de una circunferencia en que estuviera arrollado, manteniéndolo tirante, o lo que es lo mismo, la curva descrita por un punto de una recta que gira sin resbalar sobre una circunferencia (figura 10.5). En una cremallera con dentado de evolvente el flanco de los dientes es recto. El dentado de evolvente está normalizado. Existe también el dentado cicloidal, pero éste no se emplea en construcción de máquinas.

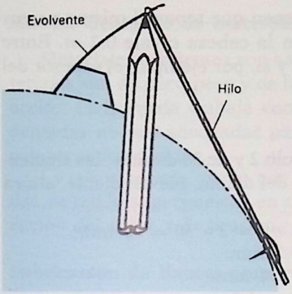


Figura 10.5 Generación de la curva evolvente.

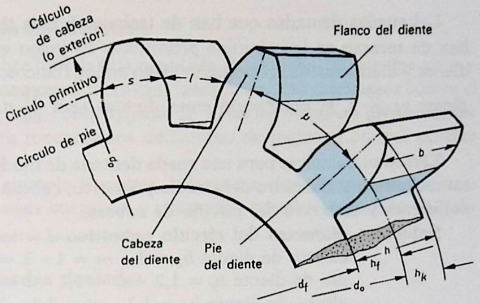


Figura 10.6 Designaciones en una rueda frontal con dientes rectos. *d* Diámetro del círculo primitivo; d_a) diámetro del círculo de cabeza; d_f) diámetro del círculo de pie; *h*) altura del diente; h_k) cabeza del diente; h_f) pie del diente; *p*) paso; *s*) espesor del diente; *l*) separación entre dientes; *b*) longitud del diente.

Magnitudes de las ruedas frontales con dentado recto

La forma de los dientes queda limitada por los círculos de cabeza y de pie (figura 10.6).

Los dientes se distribuyen a lo largo del círculo primitivo. Se llama *paso* la distancia de diente a diente medida sobre el arco de círculo primitivo. El paso está compuesto por el espesor del diente y por la separación entre dientes. El paso se elige múltiplo del número π. El número por el cual se multiplica el número π es el módulo (*m*). Mediante la normalización se limita el número infinito de posibles módulos.

Paso = módulo · π;

Paso $\boxed{p = m \cdot \pi}$ en mm.

El módulo es un número concreto y se da en mm.

Ejemplo: Cálculo del paso en mm para un módulo 2.

Solución: $p = m \cdot \pi = 2 \cdot 3{,}14 = 6{,}28$ mm.

Eligiendo el paso como múltiplo de π se obtienen para el diámetro del círculo primitivo números sencillos.

Perímetro círculo primit. = paso · número de dientes. $U = p \cdot z$ o bien $U = m \cdot \pi \cdot z$.

$$\text{Diámetro círculo primit.} = \frac{\text{perímetro círculo primit.}}{\pi}\ ;\ d = \frac{U}{\pi}$$

$$\text{o bien, siendo } U = m \cdot z \cdot \pi\ ; \qquad d = \frac{m \cdot z \cdot \pi}{\pi}$$

Diámetro círculo primit. = módulo · número de dientes;

diámetro círculo primit. $\boxed{d = m \cdot z}$ en mm.

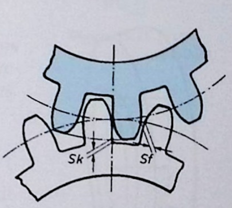


Figura 10.7 Par de ruedas dentadas engranando entre sí. *c*) juego de en la cabeza.

Son valores normales los siguientes:

altura de diente h $= 2{,}2\ m = h_k + h_f$

cabeza de diente h_k $= 1{,}0\ m$

pie de diente h_f $= 1{,}2\ m$

diámetro del círculo de cabeza $d_a = d + 2 \cdot h_k$ o bien $d_a = d + 2 \cdot m$ o también $d_a = m \cdot z + 2\ m$

es decir, diámetro círculo de cabeza $\boxed{d_a = m(z + 2)}$ en mm

Distancia entre ejes de las dos ruedas $\boxed{a = \frac{d_1 + d_2}{2}}$ en mm.

Las ruedas dentadas que han de trabajar juntas tienen que tener el mismo paso y han de tocarse en los círculos primitivos. El juego en la cabeza c vale 0,2 m. Entre diente y diente queda un pequeño juego en los flancos, y si, por ejemplo, el espesor del diente es $\frac{39}{80}p$, la separación entre dientes será $\frac{41}{80}p$.

Ejemplo: Calcúlese para una rueda dentada de módulo 2 y de 30 dientes, las siguientes magnitudes: diámetro del círculo primitivo, cabeza del diente, pie del diente, altura del diente y diámetro del círculo de cabeza.

Solución: **diámetro del círculo primitivo** $d = m \cdot z = 2 \cdot 30 = 60$ mm;
cabeza de diente $h_k = 1 \cdot m = 1 \cdot 2 = 2$ mm;
pie de diente $h_f = 1{,}2 \cdot m = 1{,}2 \cdot 2 = 2{,}4$ mm;
altura de diente $h = 2{,}2 \cdot m = 2{,}2 \cdot 2 = 4{,}4$ mm;
diámetro del círculo de cabeza $d_a = m\,(z + 2) = 2\,(30 + 2) = 64$ mm;

Observación: Con el número de dientes y el módulo quedan determinadas las más importantes magnitudes de una rueda frontal.

Material para ruedas dentadas

Las ruedas dentadas se fabrican con materiales metálicos pero también en muchos casos con materiales no metálicos.

Ruedas dentadas de materiales metálicos. Como materiales se emplean: fundición de hierro, fundición maleable, acero fundido, aceros sin alear o aleados, cementados y mejorados; en casos especiales, también bronce. La elección del material se rige sobre todo por la solicitación a que han de estar expuestas las ruedas.

Los flancos de los dientes de las ruedas dentadas se templan en muchos casos para disminuir el desgaste. En un mecanismo de tornillo sin fin, para obtener buenas propiedades de deslizamiento, el material del tornillo sin fin tiene que ser más duro que el de la rueda helicoidal. El tornillo sin fin es generalmente de acero y la rueda helicoidal de hierro fundido o de bronce. Para mecanismos de tornillo sin fin muy fuertemente solicitados se emplea para el tornillo acero de cementación (templado, pulimentado) y para la rueda helicoidal bronce fosforoso. Por razones de economía de material se hace muchas veces la rueda helicoidal solamente con la corona de bronce.

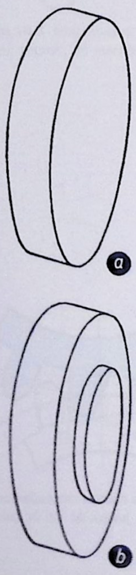


Figura 10.8 Llanta de rueda. *a*) Aserrado, *b*) forjado en estampa.

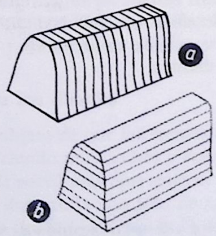


Figura 10.9 Dirección de las capas de tejido en las ruedas de material prensado; *a*) correcto; *b*) incorrecto.

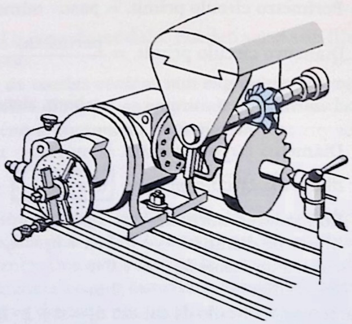


Figura 10.10 Fresado de una rueda frontal por el procedimiento del plato divisor.

Ruedas dentadas de materiales no metálicos

Materiales corrientes son sobre todo la tela prensada. Las ruedas de este tipo de materiales son de poco peso y de funcionamiento muy silencioso. Son resistentes contra el aceite. Cada rueda trabaja con una contrarrueda de material metálico. Estas ruedas dentadas no son adecuadas para mecanismos de cambio de marchas porque pueden romperse los dientes.

La *tela prensada*, como por ejemplo Novotext, o Resitext, está compuesta por bandas de tejido superpuestas en capas sucesivas y prensadas con resina sintética bajo la acción del calor y la presión.

Fabricación de llantas para ruedas dentadas

Las piezas en bruto para llantas pueden obtenerse por distintos procedimientos: aserrado de material en barra, forjado en estampa, colada, sinterización, soldadura (por ejemplo soldadura de la corona de rueda, cubo y nervaduras). En la fabricación de cuerpos de rueda partiendo de tela prensada hay que atender a la dirección de las capas de tejido, pues de lo contrario disminuye la resistencia de los dientes. Las llantas se mecanizan en tornos ordinarios, tornos revólver o tornos automáticos.

Fabricación de los dentados

Los dientes de las ruedas pueden obtenerse por modelado, por conformado y por arranque de viruta. La clase de fabricación se rige por las condiciones exigidas (por ejemplo, marcha silenciosa) y por los costos de fabricación.

Modelado. Aquí se trata de fundir (colar) y sinterizar a presión los dentados según moldes.

Conformación. Para conseguir por laminación el perfil de los dientes (deformación en frío) se utilizan laminadores de forma. Para ello se empuja una pieza de forma cilíndrica, por ejemplo, de 1 m de longitud, para que pase entre cilindros de forma opuestos entre sí y con velocidad por ejemplo de unos 70 mm/min. La profundidad de aspereza de los flancos de los dientes así laminados es de aproximadamente 1 μm. Después de haber laminado el perfil del dentado se cortan las ruedas de la barra utilizada, se refrentan y se proveen del taladro. El procedimiento de conformado es apropiado para la fabricación de gran cantidad de piezas.



Figura 10.11 Fresa para tallar engranajes.

Ejecución de dentados por arranque de viruta

En el procedimiento de fabricación mediante arranque de viruta se obtienen los dientes mediante el vaciado de los espacios entre diente y diente, por ejemplo, por fresado o mortajado. En casos especiales se rectifican después los flancos de los dientes. Los procedimientos por arranque de viruta son los que más se emplean.

Fresado de dientes

Los procedimientos de fresado pueden ser el fresado de forma (fresado con plato divisor) y el procedimiento de fresado continuo.

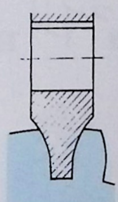


Figura 10.12 La fresa de forma para tallar engranajes tiene la forma del hueco entre dientes.

Fresado de forma

Como útiles se emplean fresas para tallar engranajes que han de tener la forma del hueco entre diente y diente (figs. 10.11 y 10.12).

Al aumentar el número de dientes se altera, para el mismo paso, la forma del hueco entre diente y diente. Con objeto de que se puedan construir ruedas de diferentes números de dientes es necesario tener para cada módulo un juego completo de fresas. Según

la exactitud que tenga que tener la rueda dentada acabada, así se tomará la fresa del juego de 8 ó del de 15 fresas (tabla 10.1). En la fresa para tallar engranajes se indican los siguientes datos: módulo, número de la fresa y para qué número de dientes es apropiada, paso en milímetros y altura del diente = profundidad de la fresa en mm.

Las ruedas dentadas pequeñas se fresan en la fresadora horizontal. Después de fresar un hueco entre dientes, se hace avanzar el cuerpo de rueda con ayuda del plato divisor (véase pág. 165) en la magnitud del paso y se fresa el siguiente hueco. El procedimiento se repite hasta que estén todos los dientes terminados. Para fresar ruedas grandes se necesitan máquinas fresadoras para ruedas dentadas, de construcción especial. Se pueden fresar también ruedas frontales con dentado oblicuo. En el fresado de forma pueden presentarse defectos de división y defectos de marcha concéntrica. Como cada hueco entre dientes tiene que ser fresado por separado, el procedimiento resulta inapropiado para gran número de piezas. Los principales procedimientos de arranque de viruta para dentados son el fresado por rodadura y el mortajado también por rodadura.

T. 10.1 Juegos de fresas para dentado de evolvente

Clasificación del juego de 8 fresas

Fresa N.º	1	2	3	4	5	6	7	8
Para números de dientes	12 –13	14 –16	17 –20	21 –25	26 –34	35 –54	55 –134	135 hasta cremallera

Clasificación del juego de 15 fresas

Fresa N.º	1	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	4 1/2	5	5 1/2	6	6 1/2	7	7 1/2	8
Para números de dientes	12	13	14	15 –16	17 –18	19 –20	21 –22	23 –25	26 –29	30 –34	35 –41	42 –54	55 –80	81 –134	135 hasta cremallera

FRESADO DE UNA RUEDA FRONTAL POR EL PROCEDIMIENTO DEL FRESADO DE FORMA (O FRESADO DEL PLATO DIVISOR)

Ejemplo de trabajo

Trabajo encargado: Mecanizado de una rueda dentada frontal para un engranaje. El cuerpo de rueda se da ya torneado. Los dientes deberán fresarse.

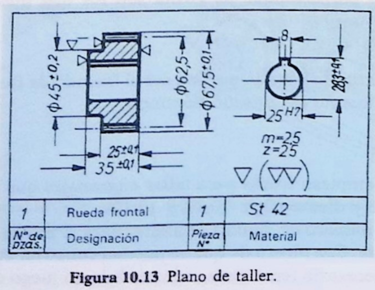


Figura 10.13 Plano de taller.



Mecanizado de los dientes

Elección de la fresa. Se elige la fresa del juego de 8 piezas (tabla 10.1, pág. ant.) y la fresa elegida deberá llevar la siguiente inscripción: Módulo 2,5; N.º 4. 21-25 dientes; paso 7,85; profundidad de fresa 5,42.

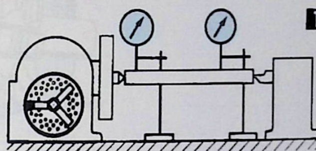
Ajuste del plato divisor. Se calcula el número de revoluciones de la manivela (véase pág. 166):

$$nk = \frac{Z}{T} = \frac{40}{25} = 1\frac{15}{25} = 1\frac{3}{5} = 1\ \frac{12\ \text{n.º aguj.}}{20\ \text{cir. aguj.}}$$

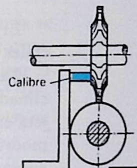
Después de fresada una separación se da una vuelta completa a la manivela y se la sigue girando hasta el agujero 12 de la circunferencia de 20 agujeros. Hay que atender durante el fresado a que la refrigeración sea abundante.

Plan de trabajo

	Fases del trabajo	Herramientas
1	Sujetar y disponer el plato divisor y el cabezal móvil en la fresadora horizontal	Plato divisor; cabezal móvil; comparador
2	Sujeción de la fresa para ruedas dentadas en el husillo portafresas y verificar el giro redondo	Fresa para fresado de ruedas dentadas de módulo 2,5; 21 ... 25 dientes; vástago de fresa
3	Sujeción de la pieza entre puntos y ajuste de la fresa al centro de aquélla	Escuadra; calibres de caras paralelas
4	Ajuste de los brazos del divisor	–
5	Ajuste del número de revoluciones y del avance de la fresa	–
6	Hacer que la fresa roce ligeramente sobre la pieza	–
7	Sacar la pieza del alcance de la fresa y hacer que la mesa de fresar suba en la altura del diente (5,42 mm)	–
8	Fresado del primer hueco	–
9	Separar la pieza de la fresa y hacerla girar con la manivela del plato divisor en una magnitud igual al paso, fresando a continuación del segundo hueco	–
10	Repetición de la fase n.º 9 hasta que queden fresados todos los dientes	–
Instrumentos de medida y verificación: pie de rey, pálmer, comparador, calibres normales de caras paralelas, pie de rey para medir gruesos de dientes		



1



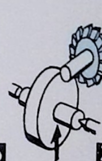
2,3



4



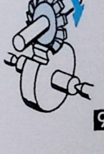
5,6



7



8



9

Fresado de ruedas por el procedimiento continuo *(o de rodamiento)*

En el procedimiento continuo de fresado se configuran los dientes de la rueda dentada mediante rodamiento del cuerpo de rueda sobre una fresa de forma helicoidal (fig. 10.14). El perfil del diente de la fresa helicoidal no corresponde, como en la fresa de forma, al hueco que queda entre diente y diente, sino que es de forma trapecial como el perfil de los dientes de una cremallera.

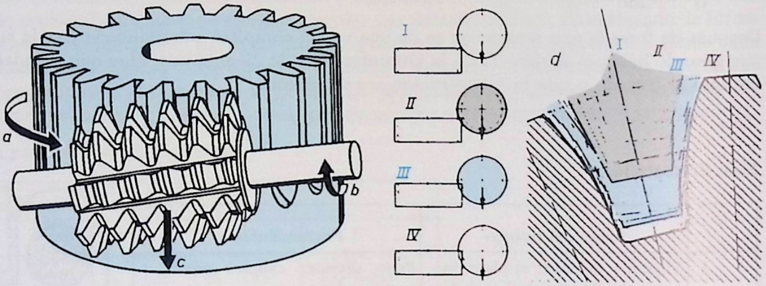


Figura 10.14 Proceso de trabajo en el fresado continuo. *a*) Movimiento de rotación del cuerpo de rueda; *b*) movimiento de rotación de la fresa; *c*) movimiento vertical de avance de la fresa; *d*) tallado de una rueda frontal mediante fresas de rodamiento.

El fresado por el procedimiento continuo se realiza generalmente en máquinas especiales para el fresado de ruedas dentadas (fig. 10.15).

Para fresar ruedas dentadas de *dientes rectos* hay que colocar la fresa helicoidal inclinada en una magnitud angular igual a la de su pendiente. El cuerpo de rueda se sujeta en la mesa de fresar. La fresa y el cuerpo de rueda reciben un accionamiento desmodrómico y giran lo mismo que un mecanismo de rueda helicoidal y tornillo sin fin engranados. Para una revolución del cuerpo de rueda tiene que realizar la fresa tantas revoluciones como dientes haya de tener la rueda. El arranque de viruta es continuo. Después de cada revolución de la pieza, realiza el cabezal portaherramienta, con la fresa, un movimiento de avance. Para fresar ruedas frontales de *dientes inclinados* hay

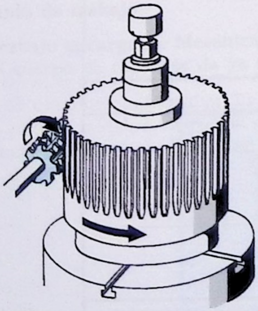


Figura 10.15 Fresado de una rueda frontal por el procedimiento de rodamiento.

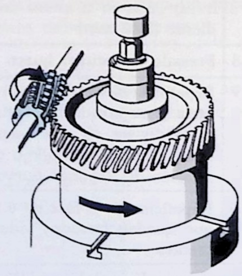


Figura 10.16 Fresado de una rueda frontal con dientes inclinados por el procedimiento de rodamiento.

que dar a la fresa la inclinación correspondiente a la de los dientes de la rueda (fig. 10.16). Además, el cuerpo de rueda recibe un movimiento de rotación adicional correspondiente a la inclinación.

Con respecto al procedimiento de plato divisor presenta el continuo varias ventajas:

a) los flancos de los dientes resultan más exactos y la distribución resulta más uniforme;

b) con *una* fresa helicoidal pueden fresarse todos los números de dientes de un mismo paso;

c) el fresado resulta más rápido.

Con este procedimiento se pueden fresar no solamente ruedas frontales de dientes rectos o inclinados, sino también cremalleras, ruedas helicoidales y tornillos sin fin.

En virtud de las ventajas del fresado por el procedimiento de rodamiento, así como de las de otros procedimientos racionales de fresado, apenas si se emplea ya en las fabricaciones en serie el procedimiento de plato divisor.

Mortajado de dientes

Mortajado de dientes en ruedas frontales

El mortajado de dientes puede realizarse por el *procedimiento de plato divisor* o por el *procedimiento continuo* o *de rodamiento*.

Mortajado de dientes por el procedimiento de plato divisor

La máquina que se usa es la mortajadora vertical (fig. 6.3, página 187). La llanta se sujeta en la mesa correspondiente. Para el mortajado es necesario un útil de forma. Después de mortajar uno de los huecos que dejan entre sí los dientes, se hace girar la rueda cada vez en la magnitud angular correspondiente al paso. La exactitud del dentado realizado depende de la forma del útil de mortajar y de la precisión de la división. Este procedimiento se emplea poco.

Mortajado de dientes por el procedimiento continuo o de rodamiento

Para el mortajado es necesaria una máquina mortajadora especial para ruedas dentadas, llamada también *cepilladora* de ruedas dentadas. Como útil se emplean *peines* o también *ruedas cortantes*. El mortajado por rodamiento es más exacto y más rápido que el fresado por el mismo procedimiento.

El útil de peine tiene la forma de una cremallera (fig. 10.17). Va fijo en un carro y lleva a cabo el movimiento vertical de corte. La pieza realiza el movimiento de rodadura que se compone de un movimiento de rotación y de otro lateral de traslación en dirección paralela al peine. Cuando la pieza ha realizado este movimiento de rodadura a lo largo del peine, vuelve la mesa a su posición de partida, con lo cual la mesa y la pieza habrán realizado el avance correspondiente a un diente. El proceso se repite hasta que hayan sido mortajados todos los huecos. Pueden realizarse así dentados exteriores de ruedas frontales de dientes rectos y de dientes inclinados.

Mediante el mortajado con rueda cortante (fig. 10.18) pueden mecanizarse no solamente dentados exteriores, sino también dentados interiores. La rueda cortante realiza el movimiento vertical de corte. El movimiento de rodadura se compone del movimiento de giro de la rueda de corte y del de la pieza. Durante el retroceso del carro portaútil se separa la pieza algo de la rueda de corte y vuelve, al principio de la nueva carrera, automáticamente a la posición inicial de trabajo.

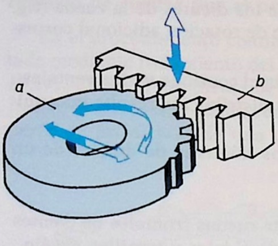


Figura 10.17 Proceso del trabajo en el mortajado por rodamiento con el útil de peine. *a*) Llanta; *b*) peine.

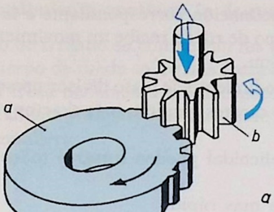


Figura 10.18 Proceso del trabajo en el mortajado por rodamiento de un dentado exterior empleando como útil la rueda cortante. *a*) Llanta; *b*) rueda cortante.

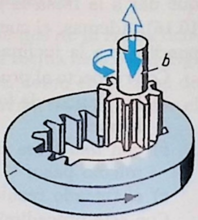


Figura 10.19 Proceso del trabajo en el mortajado por rodamiento de un dentado interior, empleando la rueda cortante. *a*) Llanta; *b*) rueda cortante.

Rectificado de los flancos de dientes en ruedas frontales

Mediante el rectificado aumenta la exactitud de la forma del diente y mejora la calidad superficial. Se emplea en ruedas templadas para suprimir la deformación debida al temple, pero también en las no templadas para conseguir un funcionamiento silencioso (figs. 10.20 y 10.21).

Se distingue entre *rectificado de forma* y *rectificado de rodamiento*.

Mediante *pulido* en pulidoras especiales pueden rectificarse los flancos de los dientes de dos ruedas que se correspondan.

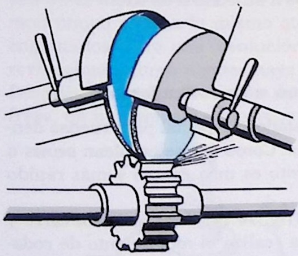


Figura 10.20 Rectificadora de ruedas dentadas, provista de muelas de plato.

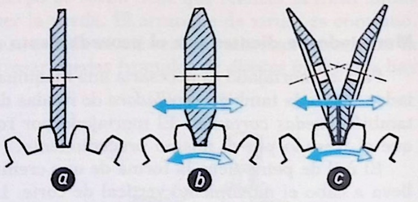


Figura 10.21 Procedimiento para rectificar ruedas frontales. *a*) Rectificado de forma; *b*) rectificado de rodamiento con *una* muela; *c*) rectificado de rodamiento con muelas de plato.

Mecanizado de tornillos sin fin y ruedas helicoidales

Los tornillos sin fin pueden ser tallados en el torno, pueden fresarse en la fresadora o pueden mecanizarse con ayuda de ruedas de corte por el procedimiento de rodamiento.

Las ruedas helicoidales no se mecanizan ordinariamente nada más que por fresado de rodamiento (figura 10.22).

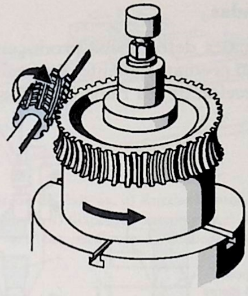


Figura 10.22 Fresado de una rueda helicoidal por el procedimiento de rodamiento.

Mecanizado de ruedas cónicas

La ejecución de dentados para ruedas cónicas es difícil, porque tanto el espesor del diente como la curvatura de los flancos varían hacia el vértice del cono. Las ruedas cónicas pueden mecanizarse por el procedimiento del plato divisor y por el de rodamiento.

Para el *procedimiento del plato divisor* hacen falta fresas de forma. Como el hueco entre los dientes es de anchura variable, hay que trabajar cada flanco por separado.

Mediante el *cepillado por rodamiento* en la cepilladora o limadora para ruedas dentadas cónicas (fig. 10.23) se mecanizan ruedas cónicas muy exactamente. La máquina

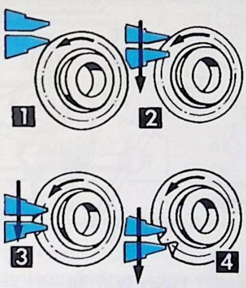


Figura 10.23 Mecanizado de ruedas dentadas cónicas por medio de dos útiles de cepillar.

trabaja con dos útiles que arrancan virutas alternativamente. Cuando está terminado un diente se hace avanzar el cuerpo de rueda en la magnitud correspondiente al paso. El movimiento de rodamiento de la llanta y del útil es producido por medio de ruedas dentadas. Mediante cepillado de rodamiento pueden mecanizarse también ruedas cónicas de dientes inclinados.

Los dientes helicoidales de las ruedas cónicas se mecanizan por fresado de rodamiento con una fresa de rodamiento de forma helicoidal.

Verificación de ruedas dentadas

Los mecanismos de engranajes defectuosos producen fuertes ruidos al funcionar, trabajan a golpes y se desgastan prematuramente. Pueden adolecer de defectos: el espesor del diente, el paso, la dirección de los flancos, la forma de los flancos, la marcha concéntrica.

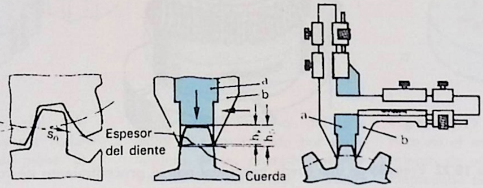


Figura 10.24 Pie de rey para dientes. Proceso de medición: 1 ajústese la corredera vertical (*a*) a la medida h_0; 2, mídase la cuerda con la corredera horizontal (*b*).

Medición del espesor de diente. Con el pie de rey especial para dientes puede medirse no solamente la cuerda sino también el arco de circunferencia a que corresponda. El espesor de diente correspondiente a la cuerda se halla mediante cálculo. El aparato no se emlea sino en casos excepcionales. En el caso del calibre óptico para espesores de dientes se leen las mediciones mediante una lupa incorporada.

La anchura de dientes *w* (fig. 10.26) es la distancia medida entre varios dientes y una magnitud auxiliar para la medición del espesor de diente. Para la medición se utiliza entre otros aparatos el de medición de distancia entre varios dientes.

Para la **medición del paso** existen instrumentos especiales de tipos constructivos diversos (fig. 10.27).

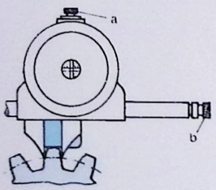


Figura 10.25 Calibre óptico para espesores de dientes. Proceso de medición: 1, ajústese la medida h_0 con el calibre *a*; 2, mídase la cuerda con el calibre (tornillo de medición) *b*. Para el ajuste y para la lectura existen dos escalas.

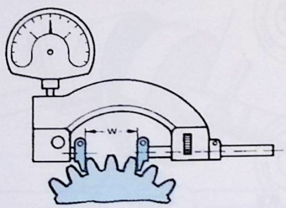


Figura 10.26 Medidor de distancia entre varios dientes. El aparato se ajusta de acuerdo con una plantilla o rueda-patrón y la discrepancia se lee en el indicador de precisión.

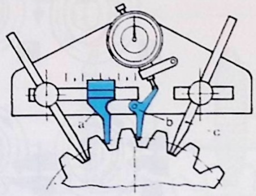


Figura 10.27 Medidor de paso. *a*) Palpador fijo; *b*) palpador articulado; *c*) apoyos. Cualquier irregularidad se acusa a través del palpador articulado en el comparador (o reloj de medición).

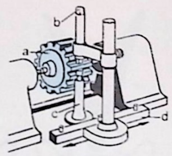


Figura 10.28 Verificación de la dirección de los flancos. *a*) Pieza a verificar; *b*) indicador de precisión; *c*) apoyo; *d*) regla de desplazamiento.

Para verificar la **forma de los flancos** pueden emplearse plantillas (verificación basta), dispositivos de proyección y aparatos de verificación de evolventes.

Verificación de defectos acumulados. Defectos acumulados son, por ejemplo, los defectos de forma y de posición de los flancos de los dientes. Para la verificación existen aparatos verificadores de los flancos.

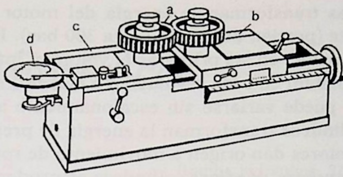


Figura 10.29 Aparato para verificación de flancos. *a*) Ruedas dentadas (rueda dentada patrón y rueda a verificar); *b*) carro ajustable; *c*) carro móvil; *d*) dispositivo registrador. Al girar las ruedas a mano quedan registrados los defectos de la rueda a verificar mediante un dispositivo trazador.

Oleohidraúlica

Se designa con el nombre de oleohidraúlica al empleo de aceite como líquido a presión. En las máquinas-herramienta se utiliza el aceite a presión para actuar los dispositivos de conexión o conmutación y para conseguir movimientos sin escalonamiento (es decir continuos) de corte y de avance. Los mecanismos que trabajan mediante presión de líquidos reciben el nombre de mecanismos hidrostáticos. Elementos constructivos principales son: bombas hidráulicas (productoras de presión), cilindros hidromotores (receptores del aceite), válvulas, tuberías.

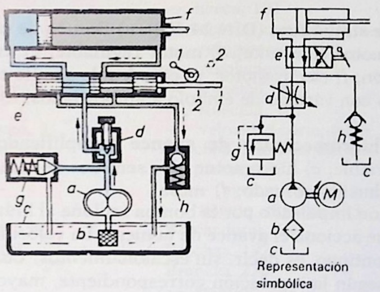


Figura 10.30 Instalación hidráulica (esquema).

Modo de trabajar un mecanismo hidrostático sencillo con movimiento rectilíneo (respecto a movimiento circular, véase página 17). La bomba hidráulica *a* es accionada por un motor eléctrico. La bomba aspira a través de un filtro *b* aceite hidráulico del recipiente *c* y lo impulsa a través de una válvula de estrangulación regulable *d* y válvula direccional *e*, al cilindro *f*. El émbolo va hacia la derecha. El aceite de la cámara derecha del cilindro vuelve al recipiente y es nuevamente aspirado. Para el movimiento hacia la izquierda del émbolo se invierte la válvula direccional (de 1 hacia 2).

La válvula de estrangulación regulable *d* varía el caudal circulante y con ello la velocidad del émbolo. Mediante la válvula limitadora de presión *g* se evita la sobrepresión. La válvula de retención *h* hace posible que la circulación se realice en una sola dirección.

Se emplea el **aceite a presión como transportador de energía** porque permite ser maniobrado más fácilmente que los medios mecánicos. No es compresible y proporciona por ello entre otras cosas movimientos más precisos.

Las **bombas hidráulicas** transforman la energía del motor de accionamiento en energía de presión del aceite (presión del aceite hasta 300 bar). Hay bombas de caudal fijo y bombas de caudal variable: en las primeras el volumen impulsado (cantidad impulsada) es el mismo (constante) en cada revolución o carrera; en las de caudal variable el volumen impulsado puede variarse sin escalonamiento ajustando la bomba.

Los **hidromotores y cilindros** transforman la energía de presión del aceite en energía mecánica. Los hidromotores dan origen a movimiento de rotación. Están construidos como las bombas hidráulicas. Mediante cilindros se producen movimientos rectilíneos.

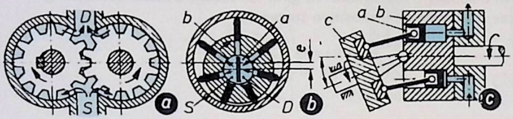


Figura 10.31 Bombas hidráulicas.

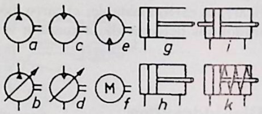


Figura 10.32 Representaciones simbólicas (ejemplo).

a) **Bomba de engranajes** (bombas de caudal fijo). Las ruedas dentadas en rotación aspiran aceite (*S* lado de aspiración), y lo transportan hacia el lado de presión *D*.
b) **Bomba radial de émbolos** (bomba de caudal variable). Mediante el ajuste excéntrico *e* el rotor *b* que gira sobre el árbol hueco y fijo *a* obliga a los émbolos a realizar movimientos radiales. Con ello aspiran aceite de la cámara de aspiración *S* y lo impulsan a la cámara de presión *D*.
c) **Bomba axial de émbolos** (bomba de caudal variable). Los émbolos *a* se mueven axialmente en la carcasa giratoria *b* de los cilindros. Mediante desplazamiento del disco de regulación *c* se varía la carrera de los émbolos y con ello el volumen impulsado.

Representaciones simbólicas (DIN 24 300). *a*) Bomba de caudal fijo, *b*) bomba de caudal variable; *c*) motor constante; *d*) motor regulable; *e*) motor constante con dos sentidos de circulación; *f*) electromotor; *g*) cilindro de simple efecto; *h*) cilindro de doble efecto; *i*) cilindro con vástago de émbolo a ambos lados; *k*) cilindro con resorte de recuperación.

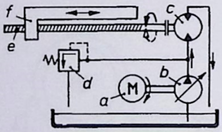


Figura 10.33 Avance hidromecánico.

Accionamiento hidromecánico de avance (simplificado). *a*) Electromotor; *b*) bomba de caudal variable; *c*) hidromotor (dos sentidos de rotación); *d*) válvula limitadora de presión; *e*) husillo roscado; *f*) mesa.

El aceite a presión impulsado por la bomba acciona al hidromotor. A éste va unido el husillo roscado que acciona el avance de la mesa. La velocidad de avance de la mesa se regula de modo continuo, es decir, sin escalonamientos: Cuanto más aceite impulse la bomba al motor según la regulación correspondiente, mayores serán el número de revoluciones del motor, el número de revoluciones del husillo roscado y la velocidad de avance.

Índice alfabético

Abrasivo, clases, 195.
—, elección, 195.
—, grano, 195.
Acabado no mecánico, 221.
— piezas, 218.
Accionamiento hidromecánico avance, 264.
Acero herramientas, 21
Afilado herramientas, 199.
— —, aglutinante-velocidad, tabla, 200.
—, normas, 200.
Afiladora herramientas, 199.
— universal, 199.
Agujeros pasadores cónicos, ejecución, 138.
— — —, verificación, 138.
Ajuste cuchilla torno, 30.
Ángulos, medición aparatos graduación, 134.
—, —-verificación, 133.
—, plantilla, 133.
Anillo calibrado roscas, 249.
Aparato contrapuntos gemelos, 137.
— divisor, 165.
Aproximación, movimiento, 3.
Árboles, enderezamiento, 65.
— excéntricos, mecanizado, 72.
— —, torneado, 72.
—, mecanizado, 56.
—, medición-verificación, 59.
—, —— rectificado, 208.
—, rectificado, 206.
—, torneado, 58.
Arranque viruta, máquinas-herramienta, 2.
Avance corte, 37.
—, mecanismo engranajes, 19.
—, — ruedas cambio, 19.
—, mecanismos, clases, 19.
—, movimiento, 3.
—, —, mecanismo, 16.
Avellanado, trabajos, 109.
— útiles espiral, 112.
Avellanador, 112.
— cilíndrico, 113.
— cónico, 112.

Barra portaherramientas taladrar, 101.
Berbiquí, 93.
Bomba axial émbolos, 264.
— engranajes, 264.
Bomba hidráulica, 264.
— —, representaciones simbólicas, 264.
— radial émbolos, 264.
Boquilla sujeción, 55.
Broca, afilado, 99.
— agujeros profundos, 100.
—, ángulo ataque, 97.
—, — filo, 98.
—, — incidencia, 97.
—, — punta, 98.
—, avance, 91, 103.
— centrar, 101.
—, cuidados, 100.
—, elección, 98.
— espiral, 96.
— —, ventajas, 100.
—, forma, 96.
—, geometría filos, 97.
— hueca, 101.
—, normas empleo, 99.
—, refrigeración, 103.
—, revoluciones, 103.
—, rotación, 90.
—, sujeción, 101.
—, velocidad corte, tabla, 103.
Brochado, normas trabajo, 193.
— piezas, 190.
— — agujero ranuras múltiples, 193.
—, tiempo, cálculo, 193.
Brochadoras, 191.
Brochas, 192.
Bruñido, 220.
— exterior, 221.
— interior, 220.

Cabeza hexagonal, mecanizado, 164.
— —, medición-verificación, 164.
Cabezal divisor, 166.
— fijo torno, 9.
— móvil torno, 10.
Cálculo tiempo útil principal, 48.
Calibrar, 42.
Calibres, 43.
—, cuidados, 77.
— exteriores, 66.
— herradura, 66.
— —, designación, 66.
— —, manejo, 67.
— macho tolerancia rosca, 249.
— normales caras paralelas, 76.
— — — —, acoplamiento, 76.
— — — —, empleo, 77.
Calibres precisión, manejo, 69.
— roscas, 249.
— tolerancia taladros, 127.
— — —, indicaciones, 127.
Carburo silicio, 195.
Carraca, 93.
Carro limadora, 170.
— portaútil torno, 10.
Centrado, ejecución puntos, 61.
—, medios trazado, 60.
Cepillado, 169.
—, ajuste avance-profundidad corte, 178.
—, — carreras, 177.
— cepilladora, 182.
—, prevención accidentes, 178.
— regletas guía, 184.
—, relación longitud carrera-velocidad corte, 172.
—, sujeción piezas, 176.
—, tiempo, cálculo, 178.
—, velocidad corte, 172.
Cepilladora, accionamiento avance, 183.
—, — principal, 183.
—, cuchillas, 174.
—, constitución, 183.
Cerámica corte, 22.
Cilindrado, normas, 45.
Cilindro alisador, 221.
— hidráulico, 264.
Comparador, 67.
—, empleo, 67.
Compás hermafrodita, 60.
— interiores, 125.
Cono, DIN 254 (extracto), 139.
—, mecanizado, 128.
—, medición-calibrado, 135.
—, normas torneado, 131.
—, torneado, 129.
—, — ayuda regla guía, 130.
—, — carro superior, 129.
—, — desplazamiento punto, 129.
Contrapunto, mecanizado, 131.
—, medición-verificación, 132.
Corindón artificial, 195.
Corte, avance, 37.
—, fuerza, 21.
—, —, potencia, 38.
—, magnitudes, 37.
—, movimiento, 3.
—, profundidad, 37.
—, velocidad, 32.
—, —, gráfica determinación, 36.

Corte, velocidad, tabla, 35.
Cuchilla, achaflanamientos, 24.
—, ángulo ataque, 23.
—, — cortante, 24.
—, — efectivo, 24.
—, — filo, 23.
—, — incidencia, 23.
—, — punta, 24.
—, ángulos, significado, 23.
— cepillar, 170.
— —, sujeción, 175.
— cilindrar agujeros, 101.
— corte, filos-superficies, 23.
—, desgaste filo, 29.
—, filo principal, 23.
—, — secundario, 23.
—, plano filo, 23.
—, — medición cuña, 23.
—, — referencia, 23.
— recortar agujeros, 101.
— rosca torno revólver, 242.
—, sujeción, 30.
—, superficie ataque, 23.
—, — incidencia, 23.
— torno, 21.
— —, afilado, 29.
— —, ajuste, 30.
— —, filo, 22.
— —, formas, 27.
— — placas metal duro, 28.
— —, tipos, 25.
Chaveteros, fresado, 159.
—, verificación, 160.
Chicharra, 93.

Diamante corte, 22.
—, fragmentos, 195.
División diferencial, 167.

Electroerosión, 222.
—, aplicaciones, 222.
—, máquina, 222.
Electrólisis, 222.
Enclavamiento, 18.
Enderezamiento árboles, 65.
Engranajes, 251.
—, acoplamiento, 16.
— cónicos, 252.
— ruedas escalonadas, 16.
— — frontales, 251.
— — helicoidales, 252.
— tornillo sin fin, 252.
Errores medición, 43.
Escalonamiento aritmético, 14.
— geométrico, 14.
— revoluciones, 14.
Escariado taladradora vertical, 118.
— torno, 124.
Escariador, 117.
—, clases, 117.
Escariador, trabajo, 117.
Escuadra centrar, 60.
Esmerilado irregularidades piezas, 200.
—, lubricación refrigerante, 201.
— piezas, 195.
—, prevención accidentes, 201.
— roscas, 244.
— tangencial, 215.
Esmeriladora pedestal, 199.
Estrella roscas, 232.
Excentricidad, verificación, 75.

Fabricación llantas ruedas dentadas, 255.
— piezas perforadas, 89.
— — torneadas, 6.
— prismas apoyo taladrar, 180.
—, procedimientos, 4.
Fresado acabado, 155.
—, ajuste avance, 154.
— cilíndrico, 141.
—, comparación, 141.
— contramarcha, 141.
— chaveteros, 159.
— desbaste, 155.
— dientes rueda, 257.
— favor avance, 141.
— frontal, 141.
—, lubricación refrigerante, 155.
—, normas trabajo, 156.
— pendular, 152.
— piezas, 140.
— — hexagonales, 164.
— placas guía, 161.
—, prevención accidentes, 156.
—, proceso trabajo, 140.
— revoluciones, 153.
— roscas, 243.
— — cortas, 244.
— — largas, 243.
— rueda frontal procedimientos fresado forma, 256.
— ruedas dentadas procedimiento continuo, 258.
—, sujeción piezas, 152.
— superficies planas, 157.
— — —, verificación, 158.
—, tiempo, cálculo, 156.
—, velocidad avance, 154.
—, — corte, tabla, 153.
—, volumen viruta admisible, tabla, 166.
Fresadora copiadora, 144.
—, herramientas, 144.
— horizontal, 142.
— —, mecanismo accionamiento avance, 142.
— —, — — principal, 142.
— paralela, 144.
— planear, 144.
Fresadora roscas, 144.
— ruedas dentadas, 144.
— universal, 144.
— vertical, 144.
Fresas, 144.
—, afilado, tabla, 150.
—, cabezal portacuchillas, 148.
— compuestas, 148.
—, cuidados, 149.
— dentado evolvente, tablas, 256.
— despulla, 148.
— dientes puntiagudos, 145.
—, revoluciones-velocidad, tablas, 167.
—, sujeción, 150.
—, valores normativos, tabla, 146.
Fresas, verificación giro concéntrico, 151.
Fuerzas corte, 21
— —, potencia, 38.

Gramil, 60.
Granete-campana guía, 60.

Hidromotor, 264.
Husillo fresar, 142.
— guía (roscar), 19.
— roscar, 228.
— —, funcionamiento, 234.
— — milímetros, rosca milímetros, 240.
— — —, — pulgadas, 241.
— — pulgadas, rosca milímetros, 242.
— — —, — pulgadas, 241.
— taladradora, 91.

Indicador precisión, 68.
— — eléctrico, 71.
— — óptico, 71.

Laminado roscas, 245.
Limadora, accionamiento avance, 172.
—, — principal, 171.
—, carro, 170.
— horizontal, constitución, 170.
—, longitud carrera, 171.
—, mesa, 171.
Lubricación refrigerante, 45.
— — esmerilado, 201.
— — fresado, 155.
— —, materiales, 45.
— — mecanizado roscas torno, 239.
— —, tabla, 168.
Luneta, uso, 65.

Macho roscar, 228.
— — indicaciones trabajo, 230.
Mandril tornear, 65.
Mandrinadora universal, 95.
— —, taladros cruzados, 119.
Mango cónico, DIN, 228.

Mango, mecanizado, 78.
—, plan trabajo mecanizado, 78.
Máquina punteadora, 95.
Máquinas esmerilado plano rectificado frontal, 214.
—-herramienta, accesorios, 5.
——, accionamiento, 5.
—— arranque viruta, 2, 4.
—— — —, constitución, 5.
——, clasificación, 4.
——, elementos maniobra, 5.
——, entretenimiento, 5.
——, exigencias, 5.
——, guías, 5.
——, mecanismos, 5.
— rectificado plano tangencial, 215.
Material cortante, 21.
Materializaciones medidas, 43.
Mecanismo avance, clases, 19.
— — ruedas cambio, 19.
— carro principal torno, 17.
— chaveta móvil, 21.
— engranajes avance, 19.
Mecanismo hidráulico avance,
— hidrostático, funcionamiento, 263.
— inversión marcha, 20.
— movimiento avance, 16.
— Norton, 21.
— PIV avance, 17.
— PK avance, 17.
— regulable sin escalonamiento, 16.
— ruedas desplazables, 21.
Mecanizado agujeros pasadores, 138.
— árboles, 56.
— — excéntricos, 72.
— cabeza hexagonal, 164.
— cajas, 83.
— casquillos, 122.
— cavidades cónicas, 131.
— cojinete, 122.
— contrapuntos, 131.
— mango, 78.
— —, plan trabajo, 78.
— manguitos, 122.
— pernos, 39, 51.
— — espiga extremos, 49.
— — — —, plan trabajo, 50.
— —, plan trabajo, 40.
— — roscados, 230, 237.
— —, sujeción pieza bruto, 41.
— piezas cónicas, 128.
— — fundidas, 83.
— — mortajadora vertical, 187.
— — paralelepipédicas, 218.
— placa guia, 162.
— prisma apoyo, 180.
— ranuras interiores, 188.
— regletas guía, 185.
— rosca hembra, 238.
— roscas, 227.
Mecanizado roscas torno, lubricante refrigerante, 239.
— ruedas cónicas, 261.
— — dentadas, 251.
— — helicoidales, 260.
— serie piezas torneadas, 86.
— tapa con resalto, plan trabajo, 83.
— tornillos sin fin, 260.
— torno piezas roscadas, 228.
— — rosca interior, 229.
— — rosca derecha (izquierda), 239.
— — — trapeciales, 239.
Medición ángulos aparatos graduación, 134.
—, aparatos indicadores, 42.
—-calibrado conos, 135.
—— roscas, 246.
—, errores, 43.
—, medios auxiliares, 43.
— pernos, 42.
— transportador universal, 135.
—-verificación ángulos, 133.
—— árboles, 59.
—— cabeza hexagonal, 164.
—— contrapunto, 132.
—— pálmer, 52.
—— pernos, 51.
—— pernos roscados, 237.
—— piezas paralelepipédicas, 218.
—— prisma, 181.
—— ranuras interiores, 189.
—— rectificado árboles, 208.
—— regletas guía, 185.
—— rosca hembra, 239.
—— taladros, 116, 121.
—— —-alojamientos, 111.
Medir, 42.
Mesa limadora, 171.
— taladrar, 92.
Metal duro, 21.
— — cuchillas, 28.
Milimedidor, 69.
Minímetro, 68.
—, uso, 69.
Módulo ruedas dentadas, 253.
Moleteado, 80.
—, normas trabajo, 81.
Mortajado, 169.
— dientes procedimiento continuo, 259.
— — — plato divisor, 259.
— — ruedas frontales, 259.
— ranuras interiores, 188.
Mortajadora horizontal, 169.
—, útiles, 187.
— vertical, constitución, 187.
— —, mecanismo avance, 187.
— — movimiento principal, 187.
Movimiento aproximación, 3.
— avance, 3.
— corte, 3.
Movimiento penetración, 3.
Muelas apilar, elección, 199.
—, aglutinante caucho, 197.
—, — cerámico, 196.
—, — goma laca, 197.
—, — magnesita, 196.
—, — resina sintética, 197.
—, — silicato, 197.
—, composición, 195.
—, dureza, 197.
—, —, elección, 197.
—, elección estructura, 197.
—, — grano, 196.
—, esmerilar, 197.
—, —, manejo, 198.
—, —, sujeción, 198.
—, —, velocidad periférica, 199.
—, estructura, 197.
—, formas, 197.
—, rectificado, 198.
—, segmentos, 215.
—, tablas, 196.
— vaso, 215.
—, velocidad corte-revoluciones, 200.

Nivel burbuja, 185.
— —, clases, 186.

Oleohidráulica, 263.

Pálmer, composición, 52.
—, comprobación, 53.
—, cuidados, 54.
—, medición-verificación, 52.
—, modo usarlo, 52, 53.
Palpador precisión, 68.
Paralelepipedos, mecanizado, 218.
—, medición-verificación, 218.
Paso rosca, 223.
Peine roscar torno revólver, 242.
Penetración, movimiento, 3.
Pernos espiga extremos, mecanizado, 49.
— — —, plan trabajo mecanizado, 50.
—, mecanizado, 39, 51.
—, —, sujeción pieza bruto, 41.
—, medición, 47.
—, —-verificación, 51.
—, plan trabajo mecanizado, 40.
— roscados, mecanizado, 230.
— —, medición-verificación, 237.
—, torneado, 41.
Piedras bruñir, 220.
Piezas bruto, comprobación, 40.
— forma, torneado, 78.
— roscadas, 223.
— torneadas, fabricación, 6.
— tornear, sujeción, 44.
Plantillas ángulos, 133.
— formas, 82.
— roscar, 228.

Plantillas roscas, 232.
Plato arrastre, 62.
— divisor, 166.
— torno, disposición piezas, 85.
Portacuchillas, 30.
Prisma, medición-verificación, 181.
Procedimientos fabricación, 4.
Profundidad corte, 37.
Pulido, 219.
—, elección material, 219.
— mano, 219.
— máquina, 220.
—, procedimiento, 219.

Radial, 94.
Ranurar, 46.
— torno, 46.
Ranuras interiores, mecanizado, 188.
— —, medición-verificación. 189.
— —, mortajado, 188.
Recalcado viruta, 4.
Rectificado afinado, 214.
— agujeros, 212.
— anillo calibre, 213.
— árboles, 206.
— —, medición-verificación, 208.
— basto, 214.
— caras paralelas, 217.
— cilíndrico, 202.
— — exterior, 202.
— — — torno, 203.
— — interior, 211.
— —, procedimientos, 209.
— —, tiempo, cálculo, 210.
— cónico, 209.
—, defectos, 209, 210.
—, elección muela, 204.
— flancos dientes ruedas frontales, 260.
— forma, 209.
— frontal, 214, 215.
— —, elección muela, 215.
— longitudinal, 204.
— penetrante, 209.
— plano, 214.
— —, sujeción piezas, 216.
—, profundidad pasada, 205.
— sin puntos, 209.
— superficies, tiempos, cálculos, 216.
— tangencial, 214.
—, valores normativos, tablas, 208.
—, velocidad corte-revoluciones muela, 205.
—, — periférica-revoluciones, pieza, 205.
Rectificadora, avance lateral, 203.
—, bancada, 202.
—, cabezal husillo portamuela, 202.
—, — móvil, 203.
—, — portapiezas, 202.
— cilíndrica, 202.
Rectificadora, elección muela, 212.
— frontal, husillo portamuelas, 214.
— —, mesa longitudinal, 214.
— interiores, 211.
— —, avance lateral, 212.
— —, — profundidad, 212.
— —, cabezal husillo portamuelas, 212.
— —, — — portapiezas, 212.
— — husillo planetario, 212.
— —, mesa, 212.
—, mesa, 203.
—, montaje retorneado, 203.
—, sujeción piezas, 212.
— universal, 212.
Refrentado, normas, 45.
Rosca, acción tensora, 225.
—, ángulos flancos, verificación, 249.
—, anillo calibrado, 249.
—, calibre, 249.
—, — diámetro exterior, 249.
—, — tolerancias, 249.
—, constitución, 223.
— defectuosa, 227.
—, determinación paso, 248.
—, diámetro flancos, medición, 246.
— exterior, calibrado, 249.
— — perno, preparación, 230.
— fijación, 223.
— fina, 226.
—, galgas, 248.
— hembra, medición-verificación, 239.
— interior, calibrado, 249.
— —, medición, 248.
— — perno, preparación, 230.
—, mecanizado, 227.
—, medición-calibrado, 246.
— métrica ISO, 226.
— movimiento, 223.
— normalizada, 225.
—, número filetes, 224.
—, paso, 223.
—, perfil, 223.
—, —, verificación, 249.
— redondeada, 226.
—, surtido paso, 224.
— sierra, 226.
—, tallado, 228.
—, tolerancia, 227.
—, —, calibre rodillos, 250.
— torno, engranajes cambio marcha-avance, 235.
— —, mecanismo inversión, 235.
— trapecial, 226.
— triangular, 225.
— tubos blindados acero, 226.
— Whitworth, 226.
— — tubos, 226.
Roscado cuchilla roscar, 228.
— pernos cuchilla roscar, 236.
Roscado piezas, 223.
— — torno macho-terraja, 229.
— tuercas cuchilla roscar, 238.
Roscar, útiles, 233.
Ruedas cónicas, mecanizado, 261.
— dentadas, cálculo, 254.
— —, empleo, 251.
— —, fabricación dentados, 255.
— —, formas, 251.
— — materiales metálicos, 254.
— — — no metálicos, 255.
— —, medición espesor diente, 262.
— —, — paso, 262.
— —, módulo, 253.
— —, perfil dientes, 252.
— — por arranque viruta, 255.
— — — fresado, 255.
— —, verificación, 262.
— —, — defectos acumulados, 262.
— —, — flancos, 262.
— dientes flecha, 252.
— — inclinados, 252.
— — rectos, 252.
— frontales dentado recto, magnitudes, 253.
— —, mortajado dientes, 259.
— —, rectificado flancos dientes, 260.
— heliocoidales, mecanizado, 260.

Símbolos superficiales, 47.
Sujeción cuchillas cepillar, 175.
— entre puntos, 62.
— fresas, 150.
— piezas cepillar, 176.
— — cilíndricas cortas, 55.
— — fresado, 152.
— — rectificado plano, 216.
— — rectificadora, 212.
— — taladradora, 106.
— — tornear, 44.
Superficie corte, 22.
— plana, verificacion mármol, 158.
— —, — rendija luz, 158.
Superficies técnicas, 46.

Taladrado, 89.
— agujero, 105.
—-avellanado, 110.
—, normas seguridad, 107.
—, — trabajo, 107.
—-penetrado, 111.
— precisión, 221.
—, tiempos, cálculo, 108.
— torno, 123.
Taladradora, batería, 94.
— columna, 91,93.
— —, taladros sencillos, 104.
— husillos múltiples, 94.
— mano, 93.
—, mecanismo avance, 91.

Taladradora, mecanismo movimiento principal, 91.
—, mesa, 92.
—, movimientos perforación, 90.
— pecho, 93.
— sobremesa, 93.
—, sujeción piezas, 106.
—, tipos, 91.
— vertical, 91.
— —, escariado, 118.
Taladro-alojamiento, medición-verificación, 111.
—, calibrado tolerancia, 126.
— cruzado, mandrinadora universal, 119.
—, medición, 105.
—, —-calibrado, 125.
—, — diámetro interior, 125.
—, — profundidad, 125.
—, —-verificación, 116, 121.
— pasante, ejecución taladradora vertical, 114.
—, torneado interior, 124.
—, trazado, 104.
Tallado orbital roscas, 244.
— roscas, 231.
— — máquina roscar, 243.
— —, refrigerantes, tabla, 231.
— — taladradora, 242.
— — torno copiador roscas, 232.
— — — cuchilla roscar, 232.
— — —, defectos, 239.
— — — paralelo husillo roscar, 234.
— — — — — —, normas trabajo, 239.
— — — revólver, 242.
— — —, ruedas intercambiables, cálculo, 240.
— —, velocidades corte, tabla, 231.
Terraja, 228.
—, indicaciones trabajo, 230.
Tiempo trabajo, tipos, 47.
Tiempo útil principal cálculo, 48.
Tolerancias, 40.
Torneado árboles, 58.
— — excéntricos, 72.
— cónico ayuda regla guía, 130.
— —, normas, 131.
— conos, 129.
— — carro superior, 129.
— — desplazamiento punto, 129.
— entre puntos, 60.
— — —, normas trabajo, 64.
— — —, trazado centrado, 60.
— excéntrico, 73.
— —, procedimiento, 74.
— —, trazado excentricidad, 73.
— formas, 79.
— —, normas trabajo, 80.
— interior taladros, 124.
— pernos, 41.
— piezas cilíndricas cortas, 44.
— — forma, 78.
— precisión, 221.
—, procedimientos, 7.
—, proceso, 6.
Tornillo micrométrico, 125.
— sin fin basculante, 18.
— — —, mecanizado, 260.
Torno automático, 87.
— copiador, 88.
—, cuchillas, 21.
—, escariado, 124.
—, mecanismos movimiento corte, 12.
— puntos, partes principales, 9.
—, rectificado cilíndrico exterior, 203.
— revólver, 86.
— —, cuchillas roscar, 242.
— —, peines roscar, 242.
—, ruedas intercambiables, cálculo, 240.
—, taladrado, 123.
—, tipos, 8
—, transmisión correas, 12.
Torno, transmisión engranajes, 12.
Transmisión correas, cálculos, 12.
— engranajes, cálculos, 12.
— escalonada, 13.
— polea escalonada, 14.
Transportador óptico, 135.
— simple, 134.
— universal, 134.
— —, medición, 135.
Trazado taladros, 104.
Tronzado, 46.
— abrasión, 209.
Tronzar torno, 46.

Velocidad corte, 32.
— —, gráfica determinación, 36.
— —, tabla, 35.
—-duración corte, 34.
Verificación agujeros pasadores cónicos, 138.
—, calibre herradura, 66.
— chaveteros, 160.
— excentricidad, 75.
— longitudes, 42.
— piezas ranuras múltiples, 194.
— plantillas formas, 82.
— ruedas dentadas, 262.
Verificar, 42.
Virutas, arranque mecánico, 2.
—, —, movimientos, 2.
—, clases, 38.
—, formación, proceso, 3.
—, formas, 38.
—, magnitudes, 3.
—, recalcado, 4.
—, volumen admisible fresado, tabla, 168.

Automatización del arranque de viruta

Para la fabricación de piezas con máquinas-herramienta es necesario disponer de la información pertinente sobre el trabajo (datos sobre formas, datos tecnológicos, ver pág. 39). Ésta puede ser sobre movimientos (p.e., carrera del carro) y sobre conexiones (procesos de conexión). Los movimientos internos de la máquina pueden maniobrarse de forma mecánica, eléctrica, hidráulica o neumática.

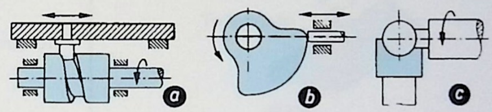
Maniobrar es alterar voluntariamente las operaciones del trabajo, como embragar y desembragar, variar la velocidad de giro o la de avance, o invertirlas.

Ajustar es conseguir una medida, como el diámetro, a base de desembragar e ir midiéndolo, o conseguir la medida teórica por rectificado cilíndrico a base de medir repetidas veces la medida real de la pieza y la de la muela a causa de su desgaste (comparación entre la medida teórica y la real).

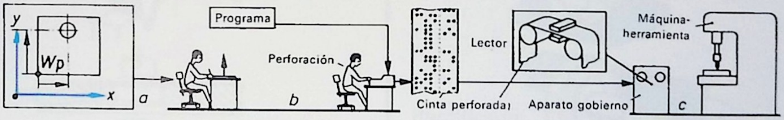
La maniobra y ajuste automáticos de la máquina y de las instalaciones se denomina automatización. Su objetivo principal es aumentar la productividad.

Las instalaciones automatizadas se ponen en marcha mediante órdenes programadas. La parte que contiene las informaciones de trabajo se llama memoria (portadora de información). Las memorias de programas mecánicos pueden ser discos de levas (accionan, por ejemplo, el avance de los tornos automáticos), levas de tambor, cuchillas para el torneado de formas (memoria de formas).

Ejemplos de órdenes programadas mecánicas. a) Leva de tambor, b) disco de levas, c) cuchilla de forma.

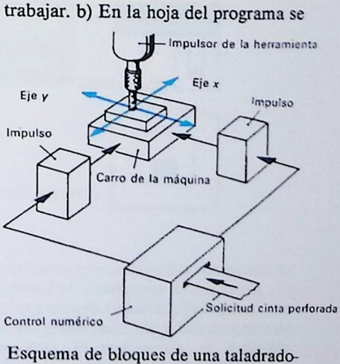


Máquinas de control numérico (máquinas CN). Control numérico significa maniobra por números. Estos números son informaciones de movimiento para la herramienta y de conexión para velocidades y avances, que se guardan en tarjetas y cintas debidamente perforadas. Las máquinas CN convierten, mediante aparatos de gobierno, la información almacenada en movimientos.

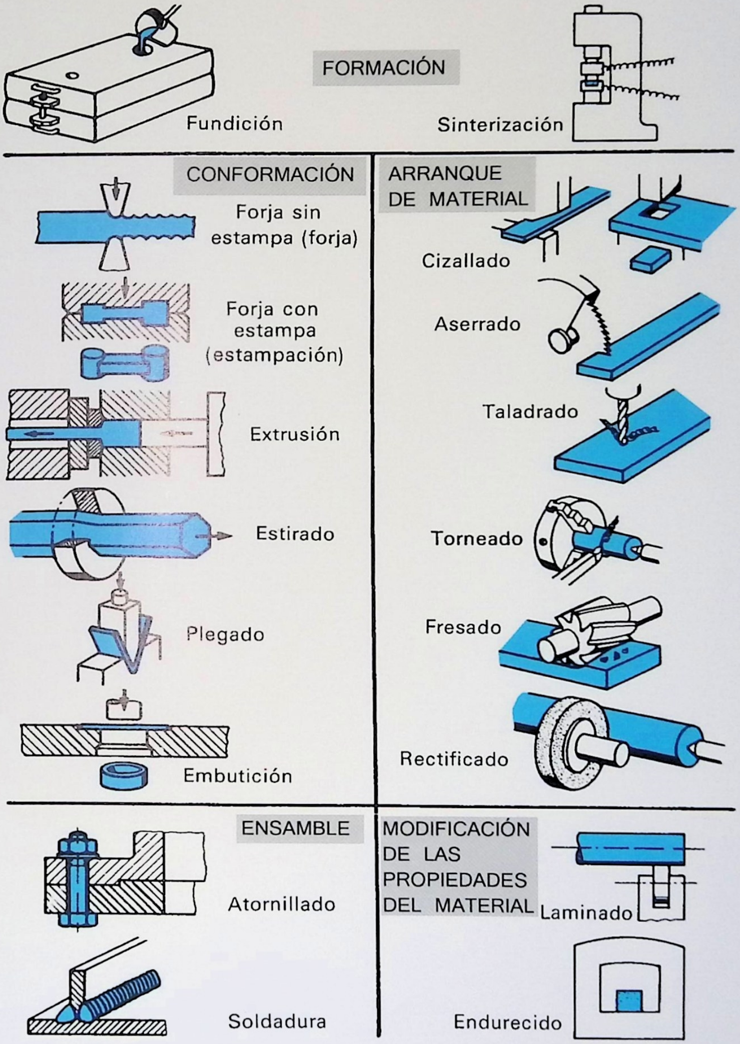


Fabricación por control numérico (esquema)

a) El plano de taller se adapta a las órdenes numéricas. Las dimensiones se dan en función de los ejes de coordenadas x e y con origen en WP, en la pieza a trabajar. b) En la hoja del programa se registran con valores numéricos las informaciones de movimiento (como dimensiones de coordenadas) y las conexiones (revoluciones, avance). A la vista del programa se pasa éste a una cinta perforada en la codificadora, que se parece a una máquina de escribir cuyo teclado está compuesto de números, letras y símbolos. Al apretar las teclas se hacen agujeros en una cinta. Cada combinación de perforaciones corresponde a un número, una letra o un símbolo. c) La cinta perforada se pasa a la máquina, a un aparato explorador (lector de la cinta), que detecta la posición de los orificios por palpadores eléctricos. Los impulsos para el control de movimiento y conexiones son conducidos de los palpadores al motor de accionamiento que arrastra al husillo del carro.



Esquema de bloques de una taladradora. Colocación de una pieza en las posiciones de trabajo.



Grupos principales de los procesos de fabricación. Formar es hacer un cuerpo sólido partiendo de material suelto, como por ejemplo de hierro fundido líquido o de polvo. Conformar es dar forma a la pieza, ya sea en frío o con calor. En arranque de material de incluye el corte (cizallado) y los procesos por arranque de viruta (como taladrado, torneado, bruñido, fresado, esmerilado, etc.). Los procesos de modificación de las propiedades del material son, entre otras, el endurecido, el laminado (endurecimiento por trabajo en frío) y la imanación. El recubrimiento (no representado en las figuras) es la aportación de material suelto, como en la metalización, el pintado y el galvanizado.



Heinrich Gerling

Alrededor de las

máquinas-herramienta

EDITORIAL
REVERTÉ

www.reverte.com

ISBN 978-84-291-6049-9